

## **Analisis Pemodelan Tiga Dimensi Candi Tikus Menggunakan Fotogrametri Jarak Dekat** *Three Dimensional Modeling Analysis of Tikus Temple Using Close Range Photogrammetry*

**Agdya Rifananda Jardini, Teguh Hariyanto\***

Departemen Teknik Geomatika, FTSLK-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

\*Korespondensi penulis: teguh\_hr@geodesy.its.ac.id

Diterima: 31072023; Diperbaiki: 03062024; Disetujui: 10062024; Dipublikasi: 19062024

**Abstrak:** Candi Tikus merupakan satu-satunya warisan bangunan cagar budaya berupa candi sekaligus petirtaan yang ada di situs Trowulan dan termasuk kedalam kerajaan Hindu-Budha terbesar di Indonesia yaitu Kerajaan Majapahit. Oleh karena itu, Candi Tikus ini harus dilestarikan dengan cara dirawat dan dipelihara keberadaannya. Salah satu cara untuk mempertahankan keberadaannya adalah dengan cara pendokumentasian. Kegiatan pendokumentasian yang dapat dilakukan untuk melihat secara detail bentuk bangunan adalah melakukan pemodelan 3 dimensi (3D) dengan fotogrametri jarak dekat atau biasa dikenal dengan close range photogrammetry. Akuisisi data dilakukan di lapangan menggunakan wahana UAV dengan perolehan berupa foto udara sebanyak 146 foto dan kamera DSLR dengan perolehan berupa foto terestrial sebanyak 357 foto. Hasil akuisisi data kemudian diolah untuk mendapatkan hasil berupa rekonstruksi 3D model yang kemudian dianalisis akurasi geometriknya menggunakan 15 titik Independent Check Point (ICP) yang diperoleh di lapangan menggunakan Total Station. Dari analisis yang sudah dilakukan diperoleh hasil ketelitian model 3D adalah sebesar 1,2 cm.

*Copyright © 2024 Geoid. All rights reserved.*

**Abstract:** Tikus Temple is the only cultural heritage building in the form of a temple and a holy bath on the Trowulan site. It belongs to Indonesia's largest Hindu-Buddhist kingdom, the Majapahit Kingdom. Therefore, this Tikus Temple must be preserved by caring for and maintaining its existence. One way to strengthen its presence is by using documentation. Documentation activities that can be carried out to see in detail the shape of the building is 3-dimensional (3D) modeling with close-range photogrammetry. Data acquisition was carried out in the field using a UAV vehicle with 146 aerial photos and DSLR cameras with 357 terrestrial photos. The results of the data acquisition are then processed to obtain results in the form of a 3D model reconstruction which is then analyzed for geometric accuracy using 15 Independent Check Points (ICP) obtained in the field using a Total Station. From the analysis that has been carried out, it is obtained that the accuracy of the 3D model is 1.2 cm.

Kata kunci: 3D Model, Candi Tikus, Fotogrametri Jarak Dekat

---

Cara untuk sitasi: Jardini, A.R. & Hariyanto, T. (2024). Analisis Pemodelan Tiga Dimensi Candi Tikus Menggunakan Fotogrametri Jarak Dekat. *Geoid*, 19(2), 266 – 273.

---

### **Pendahuluan**

Candi Tikus merupakan warisan bangunan cagar budaya berupa bangunan bersejarah yang memiliki nilai ilmu pengetahuan yang sangat penting karena satu-satunya bangunan candi yang memiliki petirtaan di Situs Trowulan, Kabupaten Mojokerto (Mikhail, dkk., 2001). Situs Trowulan merupakan salah satu daerah di Indonesia yang mempunyai banyak peninggalan purbakala terutama berupa bangunan bersejarah dengan jenis bangunan candi. Bangunan bersejarah termasuk ke dalam cagar budaya yang harus dilestarikan serta dikembangkan secara terus menerus untuk mendapatkan ketahanan budaya. Candi Tikus termasuk bangunan bersejarah candi dengan kategori unik karena memiliki petirtaan didalamnya, dan merupakan candi dengan ukuran yang relatif kecil daripada candi pada umumnya (Anom, 1994). Oleh karena itu, Candi Tikus harus dilestarikan dengan cara dirawat dan dipelihara keberadaannya, sebelum terjadi perubahan bentuk aslinya akibat kegiatan pemugaran ataupun bencana alam. Salah satu cara untuk mempertahankan keberadaannya adalah dengan cara pendokumentasian. Pendokumentasian merupakan cara yang paling efektif untuk

mendapatkan bentuk dan warna sebenarnya dari sebuah objek.

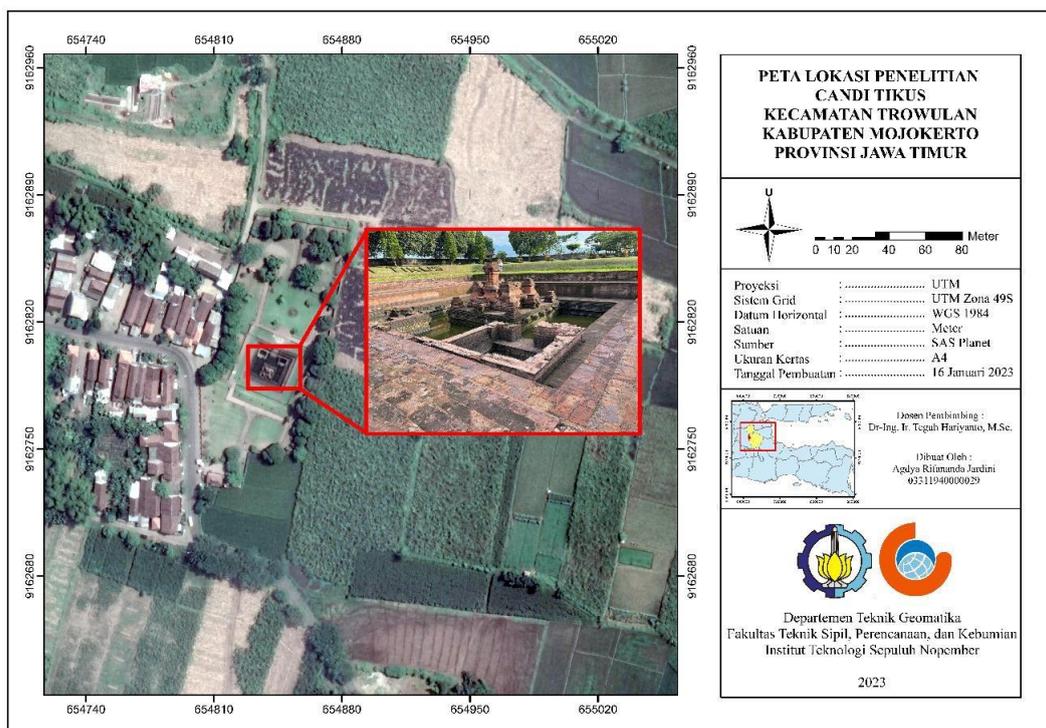
Kegiatan pendokumentasian yang dapat dilakukan untuk melihat secara detail bentuk bangunan adalah melakukan pemodelan 3 dimensi (3D). Melakukan pemodelan 3D tidak hanya merekam bentuk suatu objek, namun juga sekaligus membentuk struktur objek tersebut. Metode yang digunakan untuk pembuatan pemodelan 3D adalah dengan fotogrametri jarak dekat atau biasa dikenal dengan sebutan Close Range Photogrammetry (CRP). Fotogrametri jarak dekat banyak digunakan untuk pembuatan model 3D dikarenakan hasil yang didapatkan menyerupai bentuk aslinya hingga detail pada bangunan itu sendiri. Fotogrametri jarak dekat merupakan cabang dari ilmu fotogrametri dengan pengambilan objek atau kenampakan berada pada jarak dekat dengan kamera hingga terlihat detail pada objek tersebut (Auletjner, 2011). Fotogrametri jarak dekat pada saat ini digunakan untuk objek yang dipotret dengan jarak kurang dari 100 meter dan posisi kamera dekat dengan objek tersebut (Septifa, 2013). Selain itu, dalam proses akuisisi data yang dilakukan perlu adanya pengulangan agar mendapatkan data yang banyak dengan syarat harus menghasilkan gambar foto yang tumpang tindih agar dapat diolah untuk menjadikan satu kesatuan objek model 3D dari beberapa data foto yang diakuisisi tersebut (Snavelly, dkk, 2008).

Metode yang digunakan dalam pengolahan data fotogrametri jarak dekat adalah dengan menggunakan metode Structure for Motion (SfM). SfM merupakan metode yang digunakan pada fotogrametri pada umumnya untuk pembuatan model 3D dari kenampakan fitur topografi dua dimensi yang ada di lapangan dengan menggunakan konsep tumpang tindih (overlap) dari akuisisi banyak lokasi serta orientasi untuk pembentukan rekonstruksi pemandangan atau objek yang difoto (Prasetyo, dkk. 2005).

Berdasarkan uraian di atas, untuk mendapatkan pemodelan 3D dari bangunan bersejarah Candi Tikus dengan metode fotogrametri jarak dekat yang diolah menggunakan metode *Structure for Motion*.

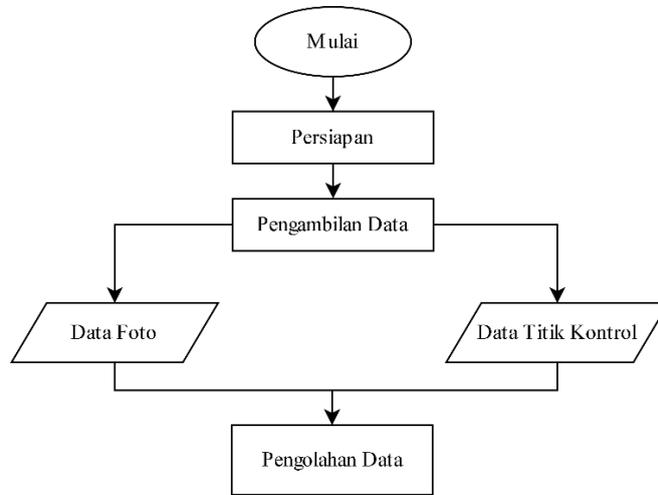
## Data dan Metode

Fokus penelitian ini adalah Candi Tikus yang berada di Jalan Raya Trowulan, Jatireto, Temon, Kecamatan Trowulan, Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur. Dengan koordinat yang terletak pada  $7^{\circ}34'18,54''\text{LS}$  dan  $112^{\circ}24'12,73''\text{BT}$ .

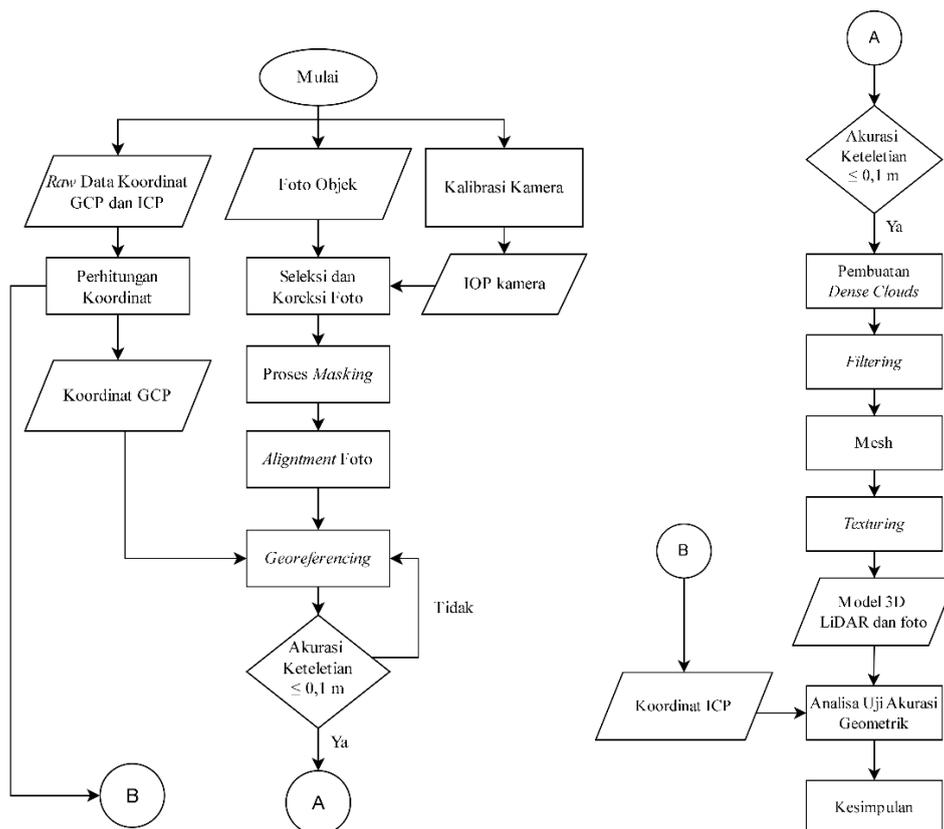


Gambar 1. Lokasi Penelitian

Secara umum, metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan fotogrametri jarak dekat dengan metode fotogrametri jarak dekat, dengan pengolahan datanya menggunakan metode *structure for motion* (sfm). Berikut merupakan diagram alir akuisisi data yang dilakukan.



Gambar 2. Diagram Alir Akuisisi Data



Gambar 3. Diagram Alir Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data dilakukan kalibrasi kamera baik itu pada kamera DJI Phantom 4 Pro V2+ dan kemara DSLR Nikon D3200, hasil yang diperoleh dari kalibrasi kamera adalah pamaeter internal kamera (IOP) yang kemudian digunakan untuk pengolahan pada data foto pembuatan model 3D. Pengolahan 3D model meliputi 2 tahap berdasarkan hasil akuisisi data LiDAR dan hasil akuisisi data foto. Sebelum dilakukannya pengolahan 3D model perlu dilakukan pengolahan titik kontrol (GCP) yang digunakan untuk melakukan proses *georeferencing* dan memperoleh data *check point*

(ICP) untuk Analisa uji akurasi geometrik pada model 3D pengolahan metode fotogrametri jarak dekat berdasarkan hasil RMSE dari koordinat *Easting*, *Northing*, dan Elevasi antara data di lapangan dengan titik koordinat dari hasil pemodelan 3D.

Pada proses georeferencing akurasi ketelitian harus kurang dari sama dengan 10 cm yang mengacu pada aturan CIPA Heritage Documentation. Apabila telah memenuhi akurasi yang diberikan, maka dapat melanjutkan langkah untuk pembuatan *dense cloud*. Namun apabila akurasi masih di atas 10 cm, maka perlu dilakukan *georeferencing* ulang dengan cara pemasangan *marker* kembali pada data foto maupun LiDAR yang ada. Setelah proses *dense cloud* dilakukan, dilanjutkan dengan proses *filtering*, dimana pada proses ini titik-titik *point clouds* yang berada di luar objek dihapus sehingga menyisakan objek badan Candi Tikus. Proses selanjutnya adalah pembentukan *mesh* dan *texturing* objek agar menyerupai bentuk aslinya. Setelah model 3D terbentuk, maka dilanjutkan dengan analisis akurasi geometrik dari model 3D dengan titik ICP yang telah diperoleh dari pengukuran lapangan. Dari hasil akurasi geometrik tersebut kemudian dianalisis seberapa besar nilai RMSE yang diperoleh dan menjadikan hal tersebut sebagai hasil ketelitian model 3D yang dibuat.

## Hasil dan Pembahasan

Dari akuisisi data di lapangan, didapatkan hasil berupa foto udara tegak dengan jumlah 146 foto dan foto terestrial dengan jumlah 357 foto. Titik kontrol tanah yang diperoleh adalah sebanyak 4 titik dan titik kontrol pada badan Candi Tikus sebanyak 7 titik. Titik *Check Point* (ICP) yang didapatkan adalah sebanyak 15 titik dengan lokasi tersebar di beberapa permukaan badan Candi Tikus.

Beberapa hasil dan pembahasan yang akan dibahas adalah berupa hasil kalibrasi kamera, hasil pengukuran titik kontrol di lapangan, analisis proses *georeference*, analisis model 3D, analisis ketelitian geometrik. Metode yang digunakan untuk melakukan kalibrasi kamera adalah dengan metode In-Laboratory dan dilakukan pada tiga kamera yaitu kamera non-metrik Nikon D3200, kamera non-metrik iPhone 12 Promax, dan kamera metrik Drone DJI Phantom 4 Pro V2. Setelah dilakukannya proses kalibrasi kamera menggunakan chessboard pada software Agisoft Metashape didapatkan hasil parameter internal (IOP) adalah tercantum dalam tabel berikut. Hasil kalibrasi kamera yang diperoleh adalah sebagai berikut

Tabel 1. Hasil Kalibrasi Kamera

IOP	Nilai	
	Nikon D3200	Kamera CMOS DJI Phantom 4 Pro
<b>f</b>	4,5870 mm	3,6499 mm
<b>X0</b>	9,8402 mm	1,0246 mm
<b>Y0</b>	-4,6200 mm	-1,2685 mm
<b>K1</b>	-0,0253	-0,0055
<b>K2</b>	0,0149	-0,0264
<b>K3</b>	0,0280	0,0619
<b>P1</b>	0,0002	0,0003
<b>P2</b>	-0,0003	-0,0034

Hasil pengukuran titik kontrol Pada penelitian ini terdapat 4 buah titik kontrol tanah yang diakuisisi menggunakan GPS geodetik dengan metode statis radial, serta lama pengukuran yang dilakukan adalah 30 menit pada setiap titiknya. Titik BM1 digunakan sebagai base dalam pengukuran GPS dengan titik lainnya sebagai rover. Berikut merupakan sketsa titik kontrol tanah yang diukur beserta baseline yang terbentuk.



Gambar 4 Hasil *Baseline* Pengukuran GNSS

Setelah dilakukan pengolahan menggunakan perangkat lunak pengolahan titik koordinat, didapatkan nilai RMSE setiap titik yang diikatkan dengan BM1 adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil RMSE Titik Kontrol

<b>Nama Titik</b>	<b>RMS Horizontal (m)</b>	<b>RMSE Vertikal (m)</b>
BM2	0,001	0,002
GCP1	0,002	0,002
GCP2	0,001	0,001

Sistem koordinat yang digunakan adalah UTM Zona 49S. Titik kontrol tanah yang diperoleh adalah sebagai berikut

Tabel 3. Hasil Koordinat Titik Kontrol

<b>Nama Titik</b>	<b>Easthing (m)</b>	<b>Northing (m)</b>	<b>Elevasi (m)</b>
BM1	654832,620	9162813,205	83,068
BM2	654859,634	9162802,174	83,052
GCP1	654847,799	9162778,652	82,563
GCP2	654824,701	9162788,248	82,582

Koodinat GCP digunakan untuk proses *georeferencing* model 3D agar penempatan model 3D sesuai dengan posisi di lapangan. Setelah titik kontrol tanah diketahui koordinatnya, kemudian titik tersebut digunakan sebagai titik kontrol pengukuran selanjutnya yakni untuk mendapatkan titik GCP dan ICP yang ada pada badan candi. Pengukuran tersebut menggunakan *Total Station Refractorless* yang diarahkan pada badan candi. Hasil koordinat GCP dan ICP sebanyak 22 titik (7 GCP dan 15 ICP) pada badan Candi Tikus adalah sebagai berikut.

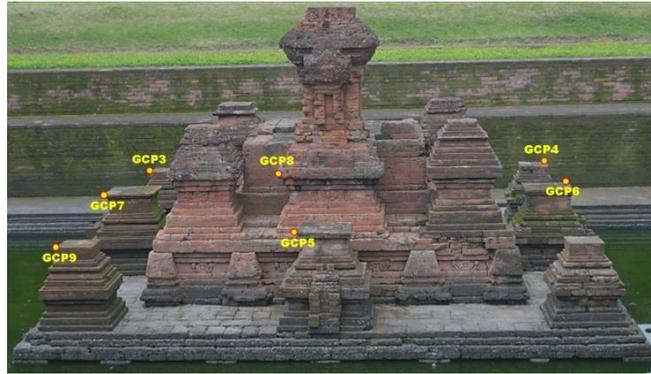
Tabel 4. Hasil Koordinat GCP pada Badan Candi

<b>No.</b>	<b>Nama Titik</b>	<b>Easthing (m)</b>	<b>Northing (m)</b>	<b>Elevasi (m)</b>
1	GCP3	654832,620	9162813,205	83,068
2	GCP4	654859,634	9162802,174	83,052
3	GCP5	654847,799	9162778,652	82,563
4	GCP6	654824,701	9162788,248	82,582
5	GCP7	654841,638	9162813,205	81,209
6	GCP8	654835,428	9162802,174	81,213
7	GCP9	654841,324	9162778,652	81,366

Tabel 5. Hasil Koordinat ICP pada Badan Candi

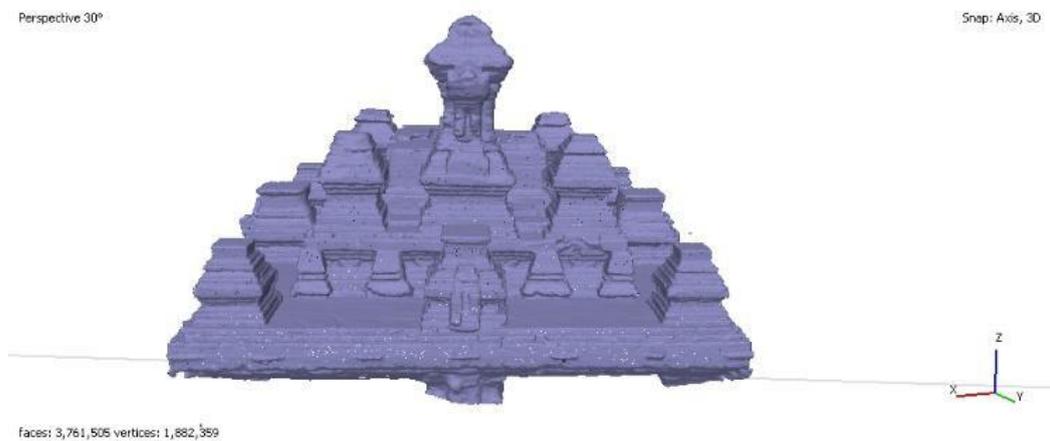
<b>No.</b>	<b>Nama Titik</b>	<b>Easthing (m)</b>	<b>Northing (m)</b>	<b>Elevasi (m)</b>
1	ICP1	654840,166	9162792,893	83,981
2	ICP2	654840,613	9162792,628	83,987
3	ICP3	654840,515	9162792,315	83,982
4	ICP4	654841,011	9162792,82	83,571
5	ICP5	654840,064	9162793,289	83,542
6	ICP6	654840,659	9162791,910	83,538
7	ICP7	654839,976	9162793,351	81,899
8	ICP8	654842,455	9162792,286	81,867
9	ICP9	654839,442	9162793,610	81,893
10	ICP10	654841,144	9162789,179	81,920
11	ICP11	654838,380	9162795,262	81,194
12	ICP12	654841,469	9162785,976	80,207
13	ICP13	654844,594	9162793,127	80,073
14	ICP14	654837,826	9162795,829	80,218
15	ICP15	654838,213	9162788,269	81,375

Proses *georeference* menggunakan 7 GCP pada badan candi. Hasil RMSE pada 3D model adalah sebesar 0,015 meter. Dimana RMSE tersebut kurang dari 0,100 meter, sehingga masih masuk kedalam toleransi yang diberikan.



Gambar 5. Persebaran GCP pada Badan Candi

Analisis model 3D yang dilakukan adalah analisis pada setiap tahapan pada pengolahan data, pada tahapan *build mesh* atau pembuatan *Triangulated Irregular Network* (TIN) Pada tahap Build Mesh/TIN dengan level high jumlah jari-jaring segitiga (*faces*) yang dihasilkan pada metode fotogrametri jarak dekat adalah sebanyak 4.083.103 *faces*. Berikut merupakan hasil jaring-jaring segitiga yang didapatkan.

Gambar 6 Hasil *Build Mesh*

Dari *mesh* tersebut didapatkan hasil 3 D sebagai berikut.



Dilakukan analisis geometrik untuk mendapatkan ketelitian pada model 3D dengan menggunakan 15 titik ICP yang tersebar pada badan Candi Tikus. Tabel 6 menunjukkan hasil koordinat ICP yang didapatkan dari model 3D. Hasil selisih antara ICP dari pengukuran langsung di lapangan menggunakan *total station* dan ICP pada 3D model terdapat pada kolom *error*. Koordinat pengukuran langsung di lapangan terdapat pada Tabel 5. Tabel 7 merupakan tabel hasil eror kesalahan titik ICP model dengan pengukuran langsung di lapangan.

Tabel 6. Hasil Koordinat ICP pada 3D Model

<i>No.</i>	<i>Nama Titik</i>	<i>Easting (m)</i>	<i>Northing (m)</i>	<i>Elevasi (m)</i>
1	ICP1	654840,176	9162792,896	83,976
2	ICP2	654840,615	9162792,656	83,977
3	ICP3	654840,520	9162792,312	83,972
4	ICP4	654841,008	9162792,832	83,565
5	ICP5	654840,050	9162793,289	83,541
6	ICP6	654840,657	9162791,906	83,540
7	ICP7	654839,968	9162793,351	81,907
8	ICP8	654842,462	9162792,285	81,871
9	ICP9	654839,438	9162793,606	81,892
10	ICP10	654841,150	9162789,181	81,921
11	ICP11	654838,389	9162795,261	81,193
12	ICP12	654841,470	9162785,974	80,207
13	ICP13	654844,592	9162793,132	80,076
14	ICP14	654837,828	9162795,837	80,216
15	ICP15	654838,195	9162788,270	81,378

Tabel 7. Hasil Koordinat ICP pada 3D Model

<i>No.</i>	<i>Nama Titik</i>	<i>Easting (m)</i>	<i>Northing (m)</i>	<i>Elevasi (m)</i>
1	ICP1	-0,010	-0,003	0,005
2	ICP2	-0,002	-0,028	0,010
3	ICP3	-0,005	0,003	0,010
4	ICP4	0,003	-0,007	0,006
5	ICP5	0,014	0,000	0,001
6	ICP6	0,002	0,004	-0,002
7	ICP7	0,008	0,000	-0,008
8	ICP8	-0,007	0,001	-0,004
9	ICP9	0,004	0,004	0,001
10	ICP10	-0,006	-0,002	-0,001
11	ICP11	-0,009	0,001	0,001
12	ICP12	-0,001	0,002	0,000
13	ICP13	0,002	-0,005	-0,003
14	ICP14	-0,002	-0,008	0,002
15	ICP15	0,018	-0,001	-0,003

Dari hasil eror kesalahan yang diperoleh, maka dapat menghitung nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) pada masing-masing titik koordinat (*Easting*, *Northing*, dan *Elevasi*), serta dapat dilakukan perhitungan untuk memperoleh ketelitian geometrik 3D model yakni gabungan dari beberapa koordinat sebelumnya. Hasil RMSE untuk koordinat *Easting* adalah sebesar 0,008 meter, untuk hasil RMSE koordinat *Northing* adalah sebesar 0,008 meter, dan untuk *Elevasi* adalah sebesar 0,005 meter. Dari ketiga RMSE didapatkan hasil yang sangat baik dikarenakan kurang dari toleransi yang diberikan yakni dibawah 0,100 meter menurut, dimana toleransi tersebut merupakan aturan yang dituliskan pada CIPA Heritage Documentation. Untuk ketelitian model 3D yang didapatkan adalah sebesar 0,012 meter, sehingga ketelitian model 3D yang dihasilkan adalah sebesar 1,2 cm.

## Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa dalam proses akuisisi data dilapangan didapatkan raw data berupa data foto Candi Tikus berjumlah total 603 foto, dengan rincian 146 foto terestrial menggunakan kamera DSLR Nikon D3200 dan 357 foto udara tegak menggunakan kamera dengan wahana drone DJI Phantom 4 pro V2+. Dengan hasil model 3D Candi Tikus dari pengolahan menggunakan metode *Structure for Motion* terbentuk sangat detail dengan ketelitian yang diperoleh adalah sebesar 1,2 cm. Untuk penelitian mendatang, disarankan memakai *marker* pada bagian yang akan diukur menggunakan *Total Station*, agar saat pengolahan dapat terlihat, sehingga hasil ketelitian yang diperoleh dapat lebih baik lagi.

## Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Balai Pelestarian Cagar Budaya (BPCB) Jawa Timur beserta jajarannya yang telah memberikan izin untuk melakukan survei pengukuran serta dukungan yang telah diberikan untuk melakukan penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- Anom, I GN. (1994). *Pemugaran Candi Tikus*. Jakarta: Proyek Pelestarian/Pemanfaatan Peninggalan Sejarah dan Purbakala.
- Atkinson, K.B. (1996). *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland, UK: Whittles Publishing.
- Mikhail, B., & McGlone. (2001). *Introduction to Modern Photogrammetry*. Wiley.
- Aulejtner, M. (2011). Investigation on methods for making detailed digital models of sculptures and other artefacts. *Norwegian University of Science and Technology*.
- Snaveley, N. dkk. (2008). Modeling the World from Internet Photo Collections. *International Journal of Computer Vision* 80 (2).
- Septifa, I. (2013). *Pengaruh Jarak Pemotretan Terhadap Ketelitian Koordinat Titik Cek pada Teknik Fotogrametri Jarak Dekat*. Yogyakarta: Universitas Gajahmada.
- Prastyo, A. D. dkk. (2005). Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat untuk Pemodelan 3D Candi Gedong Songo. *Universitas Diponegoro*.
- Stylianidis, E., Patias, P., & Quintero, M. S. (2009). *CIPA HERITAGE DOCUMENTATION BEST PRACTICES AND APPLICATIONS* (Series I ed.). Valencia, Spanyol.
- Badan Informasi Geospasial. (2014). Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.
- Badan Informasi Geospasial. (2018). Perubahan atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.



This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).