

PEMODELAN 3D CANDI TUGU DENGAN *DIGITAL SINGLE LENS REFLEX* BERBIAYA RENDAH (Studi Kasus: Bangunan Candi Tugu, Kota Semarang)

Azfa Ahmad Dzulvikar^{1*}, Yudo Prasetyo, Muhammad Adnan Yusuf

^{1,2,3}Departemen Teknik Geodesi-Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Jawa Tengah Indonesia
Jl. Prof Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Indonesia-75123Telp./Faks: (024) 736834
e-mail: azfaahmaddzulvikar@gmail.com

ABSTRAK

Teknologi fotogrametri rentang dekat terbaru yaitu *scanner* telah digunakan sebagai teknik survei model 3D yang sering digunakan dikarenakan oleh kepraktisan dan kualitas hasilnya. Namun harga perangkat yang terkait tidak dapat dibeli oleh sebagian besar orang maupun instansi, sehingga pada penelitian ini dilakukan pengujian hasil model 3D dari perangkat DSLR (*Digital Single Lens Reflex*) sebagai alternatif baru berbiaya rendah. Dilakukan akuisisi dari perangkat DSLR dan pengolahan dengan perangkat lunak AliceVision Meshroom dan dilakukan pengujian validasi dengan uji geometrik posisi dan jarak dengan ICP (*Independent Check Point*) dan T-Test. Dihasilkan model DSLR yang hanya dapat memodelkan bagian badan bangunan candi saja dengan detail relief yang cukup tinggi dan pada uji validasi didapatkan bagian akurasi geometrik posisi masuk ke dalam kelas UDLOA Lower Range dengan CE90 sebesar 0,0904 dan LE90 sebesar 0,0924 serta pada bagian akurasi geometrik jarak masuk ke dalam kelas LOA30 Lower Range dengan jumlah error sebesar 1,1937 m dan rata-rata error sebesar 0,0173 m. Dapat disimpulkan bahwa metode DSLR tidak direkomendasikan sebagai metode pemodelan 3D berbiaya rendah dikarenakan oleh model bangunan bagian atap yang tidak berhasil dimodelkan.

Kata Kunci : Biaya Rendah, Candi Tugu, *Digital Single Lens Reflex*, T-Test

ABSTRACT

The latest near-range photogrammetry technology, namely the scanner, has been used as a 3D model survey technique which is often used due to its practicality and quality of results. However, the price of the related equipment cannot be purchased by most people or institutions, so that in this study we tested the results of a 3D model of a DSLR (Digital Single Lens Reflex) device as a new, low-cost alternative. Acquisition of DSLR devices was carried out and processing with AliceVision Meshroom software and validation tests were carried out with geometric position and distance tests with ICP (Independent Check Point) and T-Test. A DSLR model was produced which only succeeded in modeling the body of the temple building with high relief detail and in the validation test, the geometric accuracy section was found to be included in the UDLOA Lower Range class with CE90 of 0.0904 and LE90 of 0.0924 and in the accuracy section geometric distance into the LOA30 Lower Range class with a total error of 1.1937 m and an average error of 0.0173 m. It can be concluded that the DSLR method is not recommended as a low-cost 3D modeling method due to the unsuccessful modeling of the roof of the building.

Keywords : *Low Cost, Candi Tugu, Digital Single Lens Reflex, T-Test*

*)Penulis Utama, Penanggung Jawab

1. PENDAHULUAN

Fotogrametri rentang dekat telah digunakan sebagai teknik survei model tiga dimensi (3D) yang lebih sering digunakan karena lebih praktis dibandingkan dengan metode tradisional dalam dua dekade terakhir ini. Lalu teknologi mengenai peralatan dan metode pemodelan 3D semakin berkembang hingga sekarang dan teknologi tersebut menjadi lebih praktis, efisien, dan dengan akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan metode terdahulu dalam melakukan dokumentasi digital ke dalam model 3D berbagai macam objek.

Akan tetapi teknologi pemodelan 3D terkini memerlukan biaya yang tergolong tidak rendah, sehingga tidak semua orang maupun instansi mampu dan berani untuk menggunakan teknologi tersebut. Oleh karena itu, diperlukan metode alternatif yang dapat menghasilkan model 3D dengan kualitas dan akurasi hasil model 3D yang baik. Hal ini juga

didorong oleh permintaan pasar yang terfokus pada dokumentasi digital model 3D objek dan lingkungan untuk dapat menekan biaya agar lebih murah, mudah, dan cepat (Sánchez dan Quirós, 2017). Penelitian Riveiro dkk., 2013 juga menjelaskan apabila pengukuran hanya terfokus pada satu objek pengukuran yang akan dimodelkan, maka metode dengan biaya yang rendah lebih direkomendasikan seperti halnya teknologi DSLR dalam memodelkan suatu objek yang dapat dijangkau hanya dengan ketinggian rata-rata manusia dan diutamakan daripada menggunakan teknologi terbaru seperti halnya *Light Detection and Ranging* (LiDAR) dan *scanner*. Lalu terkait biaya rendah yang dimaksud dalam fotogrametri dengan mengacu pada Mokroš dkk., 2021 tidak selalu mengacu pada harga alat dan perlengkapan saja, akan tetapi termasuk biaya harga alat, biaya operasional alat, dan biaya pengolahan data.

Penelitian Mokroš dkk., 2021 melakukan penelitian mengenai pengujian beberapa teknologi *mobile mapping* pada aspek biaya yang digunakan dan aspek kualitas model yang dihasilkan dalam lingkup pemanfaatan untuk inventarisasi hutan. Pengujian dilakukan dengan memperhatikan aspek deteksi pohon, *Diameter at Breast Height* (DBH), akurasi, dan biaya yang diperlukan dari setiap alat yang diujikan. Teknologi *mobile mapping* yang diujikan berupa *Personal Laser Scanner Hand-held*, iPad Pro dengan teknologi *Light Detection and Ranging* (LiDAR), dan *Multi-Camera* yang dirakit oleh peneliti yang terdiri dari tiga kamera DSLR yang tersinkron satu sama lain. Dihasilkan berupa *mobile mapping* jenis iPad Pro yang menjadi alternatif terbaik yang memiliki hasil model 3D yang mendekati kemampuan teknologi terkini (pada penelitian ini adalah *Terrestrial Laser Scanner*) dalam inventarisasi hutan dalam lingkup akurasi geometrik dan hasil pemodelan 3D objek pohon. Namun perangkat ini memiliki batasan jarak pemindaian, sehingga menghabiskan banyak waktu untuk melakukan pemindaian pada keseluruhan objek penelitian.

Penelitian ini bertujuan untuk meneliti metode alternatif dengan menggunakan kamera *Digital Single Lens Reflex* (DSLR) memiliki hasil model dan akurasi geometrik posisi dan jarak model yang baik atau tidak berdasarkan pada standarisasi akurasi model 3D dari United States Institute of Building Documentation (USIBD) dalam memodelkan objek yang memiliki ukuran melebihi tinggi rata-rata manusia dengan metode pengambilan gambar dari segala arah terhadap objek bangunan yang dimodelkan. Pemodelan 3D menggunakan DSLR memiliki keunggulan, yaitu dapat memodelkan objek dengan kedetailan relief yang cukup tinggi dikarenakan kamera DSLR mampu memotret objek dengan jarak yang sangat dekat seperti halnya yang telah diterapkan oleh penelitian dari Alshawabkeh dkk., 2020 yang menghasilkan 3D model dengan detail sangat tinggi dan berfungsi untuk melengkapi bagian model yang tidak bisa digapai oleh TLS. Objek yang dijadikan studi kasus dalam penerapan metode DSLR di penelitian ini adalah bangunan peninggalan budaya Candi Tugu di Kota Semarang dengan alasan objek ini memiliki ukuran yang cukup besar, tinggi, dan memiliki banyak ukiran relief dan patung. Objek ini sekaligus menjadi tindakan pemeliharaan bangunan bersejarah dalam bentuk digital menghadapi terjadinya kerusakan oleh faktor alam maupun non-alam kedepannya yang memiliki urgensi yang sama seperti pada penelitian Bruno dkk., 2022. Sehingga bangunan candi tugu sesuai dan dapat dijadikan sebagai studi kasus objek penerapan metode DSLR pada penelitian ini dan akan dilakukan pengujian secara komprehensif terhadap hasil model 3D yang dihasilkan. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi data referensi, evaluasi program serta menjadi masukan informasi kepada masyarakat maupun pemerintah dalam upaya dokumentasi dan

pemeliharaan bangunan bersejarah dalam bentuk digital salah satunya Candi Tugu dengan biaya yang rendah, mudah digunakan, dan memiliki kualitas dan akurasi yang tinggi.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat Penelitian

Berikut merupakan peralatan yang digunakan pada penelitian ini :

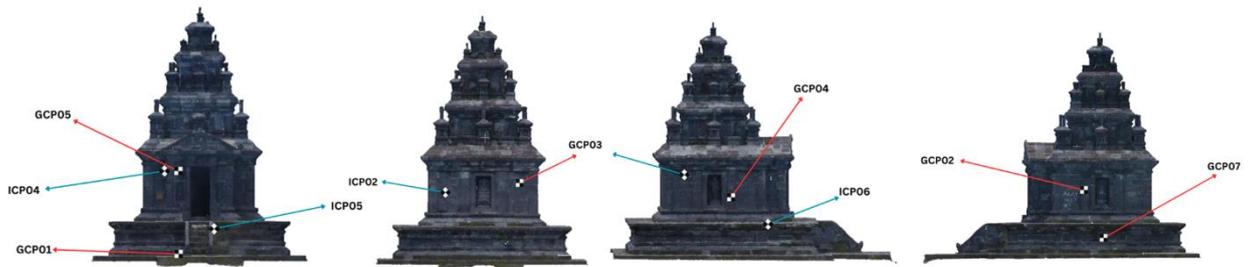
1. Perangkat Keras :
 - a. Laptop HP 245 G8 Ryzen 5.
 - b. *Digital Single Lense Reflex* (DSLR) Canon 1300D dengan tripod.
 - c. Dua buah *Receiver GNSS (Global Navigation Satellite Systems)* tipe Topcon Hiper SR.
 - d. Dua buah *Receiver GNSS* tipe Topcon Hiper II.
 - e. Empat buah statif.
 - f. Empat buah *tribach*.
 - g. Dua buah *neck*.
 - h. Satu buah yalon.
 - i. Dua buah prisma.
 - j. *Total Station Reflectorless* tipe SOKKIA IM 52.
 - k. *Checkerboard* ukuran 12 cm x 12 cm (*sticker*) dan 69 cm x 69 cm (bahan *banner*).
 - l. Paku payung (3 buah).
 - m. Meteran baja.
2. Perangkat Lunak :
 - a. Microsoft Windows 11 Home.
 - b. Microsoft Office 2019.
 - c. Perangkat lunak Alice Meshroom.
 - d. Perangkat lunak CloudCompare.
 - e. Perangkat lunak Spectrum Link.

2.2 Pelaksanaan Penelitian

Berikut merupakan tahapan pelaksanaan penelitian :

1. Tahap Persiapan

Terdiri atas identifikasi masalah yang akan dikaji pada penelitian ini, studi literatur mengenai penelitian, melakukan survei pendahuluan penentuan jaring beserta posisi pengukuran GNSS metode statik dan lokasi GCP (*Ground Control Points*) dan ICP (*Independent Check Points*) di sekitar bangunan Candi Tugu, dan perencanaan serta pemasangan titik ikat dan titik uji (**Gambar 1**) pada bangunan Candi Tugu. Jaring yang digunakan berjumlah empat titik observasi dengan menggunakan orde 2 dikarenakan oleh jarak antara titik referensi dengan titik observasi kurang dari 10 km dan lebih dari 2 km yang mengacu pada SNI JKH Badan Standardisasi Nasional, 2002 dalam Prayogo dan Basith, 2020. Jumlah titik kontrol berjumlah 6 titik dan ICP berjumlah 5 titik mengacu pada Pix4D, 2019 dalam Hillman dkk., 2021.



Gambar 1 Posisi Titik Kontrol dan ICP

2. Tahap Akuisisi

Dilakukan beberapa pengukuran, yaitu melakukan pengukuran GNSS dengan empat titik pengukuran (tiga berlokasi dekat dengan bangunan candi dan satu berlokasi di titik JKG berorde 0 di dekat Tugu Muda sebagai koordinat referensi) untuk mengetahui koordinat GCP dengan akurasi yang tinggi menggunakan jaring GNSS yang saling mengikat satu sama lain yang memiliki nilai presisi jaring (Hidayat dkk., 2019) dan SoF (*Strength of Figure*) (Sidharta, 2018) yang tinggi dan kuat. Lalu kedua dilakukan pengukuran titik ikat, ICP, dan geometri jarak model pada bangunan candi menggunakan *Total Station Reflectorless* dengan menggunakan acuan koordinat GCP yang telah diukur dan diolah dari pengukuran GNSS dan dengan metode pengukuran situasi langsung dari titik koordinat GCP tanpa adanya pengukuran poligon. Selanjutnya dilakukan pengukuran meteran baja yang bertujuan untuk menambah data pengukuran geometrik jarak bangunan candi yang tidak bisa diukur oleh perangkat *Total Station Reflectorless*. Lalu dilakukan pengaturan sensor DSLR yang disesuaikan dengan kondisi cahaya seperti pada **Gambar 2** agar didapatkan hasil gambar yang jelas (memudahkan proses pemodelan 3D) seperti halnya pada penelitian El-Din Fawzy, 2019. Lalu dilakukan pemotretan foto bangunan Candi Tugu menggunakan DSLR secara menyeluruh dengan perencanaan pemotretan bangunan seperti pada **Gambar 3** dengan keseluruhan posisi sensor yang dekat dengan objek bangunan (<3m) (Alshwabkeh dkk., 2020) dan memutar objek bangunan yang akan dimodelkan (El-Din Fawzy, 2019). Kalibrasi kamera tidak dilakukan dengan kertas *planar checkerboard*, melainkan berlangsung di dalam perangkat lunak AliceVision Meshroom menggunakan *metadata* gambar *input* pada proses *image initiation* yang dijelaskan dari *manual book* perangkat lunak AliceVision Meshroom, 2022 dalam Griwodz dkk., 2021.



Gambar 2 Proses Pengaturan Kamera DSLR

3. Tahap Pengolahan

Dilakukan pengolahan dari data-data yang didapatkan sebelumnya, antara lain pengolahan titik koordinat GCP dari data hasil akuisisi GNSS menggunakan perangkat lunak Topcon Tools (pengolahan *post-processing*) dan data ephemeris (Ginting dkk., 2014), pengolahan koordinat titik ikat pada dinding bangunan candi, ICP pada dinding bangunan candi, dan geometri jarak model candi hasil pengukuran *Total Station Reflectorless* menggunakan perangkat lunak Spectrum Link (*exporting data*) dan hasil pengukuran meteran baja (pencatatan), pengolahan model 3D Candi Tugu dari perangkat DSLR menggunakan perangkat lunak AliceVision Meshroom dengan pengaturan kualitas tinggi mengacu pada Griwodz dkk., 2021, pengikatan kedua hasil *mesh* dengan data titik ikat dengan perangkat lunak CloudCompare, dan pengolahan model 3D DSLR menggunakan perangkat lunak CloudCompare (segmentasi dan *merging mesh*) (Niederheiser dkk., 2016).



Gambar 3 Rencana Posisi Sensor Ketika Akuisisi

4. Tahap Analisis

Terdiri dari proses analisis hasil pemodelan 3D Candi Tugu dari model DSLR dan dilanjutkan dengan analisis kesesuaian model berbiaya rendah dari model DSLR dengan memperhatikan parameter biaya harga dan berat alat, biaya operasional alat, dan biaya pengolahan data (Mokroš dkk., 2021). Lalu dilakukan validasi beberapa uji statistik model 3D DSLR Candi Tugu dengan uji hipotesis *T-Test* (Rahayuningsih dkk., 2019) satu sampel menggunakan *error* jarak bangunan candi dengan total 69 sampel yang telah melalui pengujian normalitas yang diambil dari hasil selisih jarak model terhadap jarak sebenarnya dengan perangkat lunak CloudCompare dan uji ketelitian geometri posisi model dengan ICP (5 titik) yang dalam pengambilan data ICP model dibantu dengan perangkat lunak CloudCompare (Salam, 2016).

2.3 Konsep Biaya

Pada Kuswadi (2005), Biaya merupakan elemen yang tidak dapat dipisahkan dari aktivitas kegiatan manusia. Seperti halnya dalam penelitian ini untuk meneliti hasil model 3D candi dengan kamera DSLR, akan dihitung aspek biaya yang digunakan. Menurut Kuswadi (2005) biaya dapat diklasifikasikan berdasarkan pola perilaku biaya, antara lain:

1. Biaya tetap (*fixed cost*). Merupakan biaya yang jumlahnya tetap atau tidak berubah dalam rentang waktu tertentu. Contoh dari jenis biaya ini adalah biaya harga perangkat yang digunakan pada penelitian ini.
2. Biaya Variabel (*variable cost*). Merupakan biaya yang dalam rentang waktu dan sampai batas-batas tertentu jumlahnya dapat berubah-ubah secara proporsional. Menurut penelitian Mokroš dkk., 2021, dilakukan pengujian ongkos pada beberapa perangkat *mobile mapping* yang digunakan untuk pemodelan 3D hutan sebagai studi kasus. Pengujian pada penelitian ini menggunakan beberapa parameter ongkos yang digunakan, antara lain : *time* (waktu akuisisi), *weight* (berat total perangkat), dan perkiraan biaya setiap perangkat. Sehingga dengan mengacu pada penjelasan sebelumnya, penelitian ini akan menggunakan beberapa pengujian *low cost* berupa parameter biaya harga dan berat alat, biaya operasional alat, dan biaya pengolahan data.

Perhitungan biaya dapat dilakukan dengan rumus sederhana seperti pada rumus 1 (Mokroš dkk., 2021).

$$\text{Jumlah biaya} = A + B + C + \dots + N \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

A, B, C, ..., N : Variabel biaya per parameter

2.4 Uji Statistik

Terdapat beberapa uji statistik yang diterapkan di dalam penelitian ini, antara lain:

2.4.1 Uji Hipotesis Mean Populasi

Uji hipotesis *mean* (rata-rata) populasi merupakan pengujian yang dilakukan antara rata-rata sampel (\bar{y}) terhadap rata-rata populasi (μ) (Navratil, 2011). Uji Hipotesis Mean Populasi digunakan pada penelitian ini untuk menguji rata-rata sampel data *error* geometri jarak model terhadap sebenarnya dengan batas kelas ketelitian geometri dari USIBD pada **Tabel 1** sebagai batas rata-rata populasi pengujian dengan signifikansi tertentu. Pengujian ini merupakan analisis statistik parametrik, sehingga membutuhkan data yang telah terdistribusi normal. Menurut Ajija dkk., 2011 dalam Marizha dkk., 2020 uji normalitas hanya digunakan jika jumlah observasi sampel kurang dari 30 dan untuk mengetahui apakah *error term* mendekati distribusi normal. Jika jumlah observasi sampel lebih dari 30, maka tidak perlu dilakukan uji normalitas karena distribusi *sampling error term* telah mendekati normal. Data sampel yang banyak (lebih dari 30) akan sulit didapatkan data yang normal, dikarenakan variasi nilai yang banyak. Sehingga uji normalitas data dapat diabaikan. Juga menurut Rstudio, 2022 apabila tidak diketahui ragam populasi, namun data berjumlah lebih dari 30, maka berdasarkan Teorema Limit Pusat (CLT), data dikatakan mendekati distribusi normal.

Pengujian normalitas untuk data yang tidak diketahui nilai rata-rata populasinya dapat dilakukan dengan uji Lilliefors dan pada penentuan mean sampel masuk ke bentuk hipotesis yang akan ditentukan dengan nilai t hitung seperti pada rumus 2 Navratil, 2011 dalam Rahayuningsih dkk., 2019 dengan penentuan t tabel menggunakan *degree of freedom* (dk) = $n-1$.

$$t = \frac{\bar{y} - \mu}{S / \sqrt{n}} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- n : Jumlah Sampel
- μ : Mean populasi
- \bar{y} : Mean sampel
- S : Standar deviasi sampel

2.4.2 Uji Ketelitian Geometri Posisi dengan ICP

Ketelitian geometri posisi adalah nilai yang mewakili ketidakpastian koordinat posisi suatu objek yang dimodelkan dibandingkan dengan koordinat posisi objek yang dianggap sebagai posisi sebenarnya (Badan Informasi Geospasial, 2014). Uji ketelitian geometri model dengan ICP (*Independent Check Points*) digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui geometri posisi model yang diujikan memiliki kelas ketelitian apa yang mengacu pada ketelitian geometri dari USIBD pada **Tabel 1**. Berikut merupakan perhitungan kedua akurasi beserta rumus perhitungan RMSE (Badan Informasi Geospasial, 2014) :

$$RMSE_{\text{horizontal}} = \sqrt{\frac{\sum(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}{n}} \dots \dots \dots (3)$$

$$RMSE_{\text{vertikal}} = \sqrt{\frac{\sum(z_2 - z_1)^2}{n}} \dots \dots \dots (4)$$

$$CE90 = 1.5175 \times RMSE_{\text{horizontal}} \dots \dots (5)$$

$$LE90 = 1.6499 \times RMSE_{\text{vertikal}} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

x_2 : Koordinat x Model
 x_1 : Koordinat x ICP
 y_2 : Koordinat y Model
 y_1 : Koordinat y ICP
 n : Jumlah titik

2.5 Level of Accuracy (LOA)

LOA merupakan skala standarisasi yang dapat digunakan untuk menentukan seberapa akurat model yang terbentuk terhadap ukuran sebenarnya (U.S. Institute of Building Documentation, 2016 dalam Jarzabek-Rychard dan Maas, 2023). Tidak ada bangunan yang benar-benar orthogonal, sehingga dapat diartikan bahwa setiap pemodelan 3D objek memiliki kesalahan dalam pemodelannya dan dapat

dihitung akurasi pemodelan terhadap kondisi di dunia nyata. LOA disini berfungsi sebagai standar akurasi pemodelan 3D yang disepakati dalam dunia internasional. Skala LOA dikembangkan oleh United States Institute of Building Documentation (USIBD) untuk menstandarisasi spesifikasi industri pemodelan 3D secara luas. Skala LOA dapat dilihat pada **Tabel 1** dengan indeks kepercayaan sebesar 95%.

Tabel 1 Level of Accuracy
(U.S. Institute of Building Documentation, 2016)

Level	Upper Range	Lower Range
UDLOA	User Defined	User Defined
LOA10	15 cm	5 cm
LOA20	5 cm	15 mm
LOA30	15 mm	5 mm
LOA40	5 mm	1 mm
LOA50	1 mm	0 mm



(1) Tampak Depan Candi



(2) Tampak Belakang Candi

Gambar 4 Hasil *Sparse Point Clouds* Perangkat DSLR

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil dan Analisis Model 3D DSLR

Pengolahan model 3D pada bangunan Candi Tugu dari hasil akuisisi dengan perangkat DSLR yang berjumlah sebanyak 1056 foto menggunakan perangkat lunak AliceVision Meshroom menghasilkan *sparse point clouds* yang terlihat terbentuk dengan baik dalam memodel bangunan candi dan seluruh posisi sensor yang berhasil terestimasi (1056 posisi sensor) pada **Gambar 4** dan dihasilkan model 3D dalam bentuk *mesh* beserta tekstur dengan ukuran resolusi sebesar 16384 x 16384 piksel dalam format file .png dengan warna yang tegas sesuai dengan kondisi bangunan candi disebabkan oleh kondisi cuaca cerah yang mencakup keseluruhan Candi Tugu dan memiliki sistem referensi lokal dari perangkat lunak AliceVision Meshroom. Model Candi Tugu menggunakan kamera DSLR memiliki jumlah 1.643.701 *point clouds* yang dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Jumlah *point clouds* pada model ini termasuk rapat dan detail pada bagian badan dan bawah bangunan candi termasuk ukiran relief dan patung pada bangunan candi. Hal ini dikarenakan posisi sensor yang dekat terhadap bagian badan dan bawah

bangunan candi dan dengan jumlah perspektif sensor yang beragam dan banyak. Akan tetapi dapat dilihat pada bagian atap bangunan candi didapati *point clouds* yang tidak rapat dan terdapat lubang karena kurangnya informasi gambar masukan. Hal ini dikarenakan sensor DSLR yang hanya dapat menjangkau area bangunan yang tidak tinggi (tidak sampai atap).

3.2 Hasil dan Analisis Uji Validasi Model

Berikut merupakan hasil pengujian validasi geometrik posisi dan jarak model 3D DSLR bangunan Candi Tugu yang telah dilakukan *georeference* :

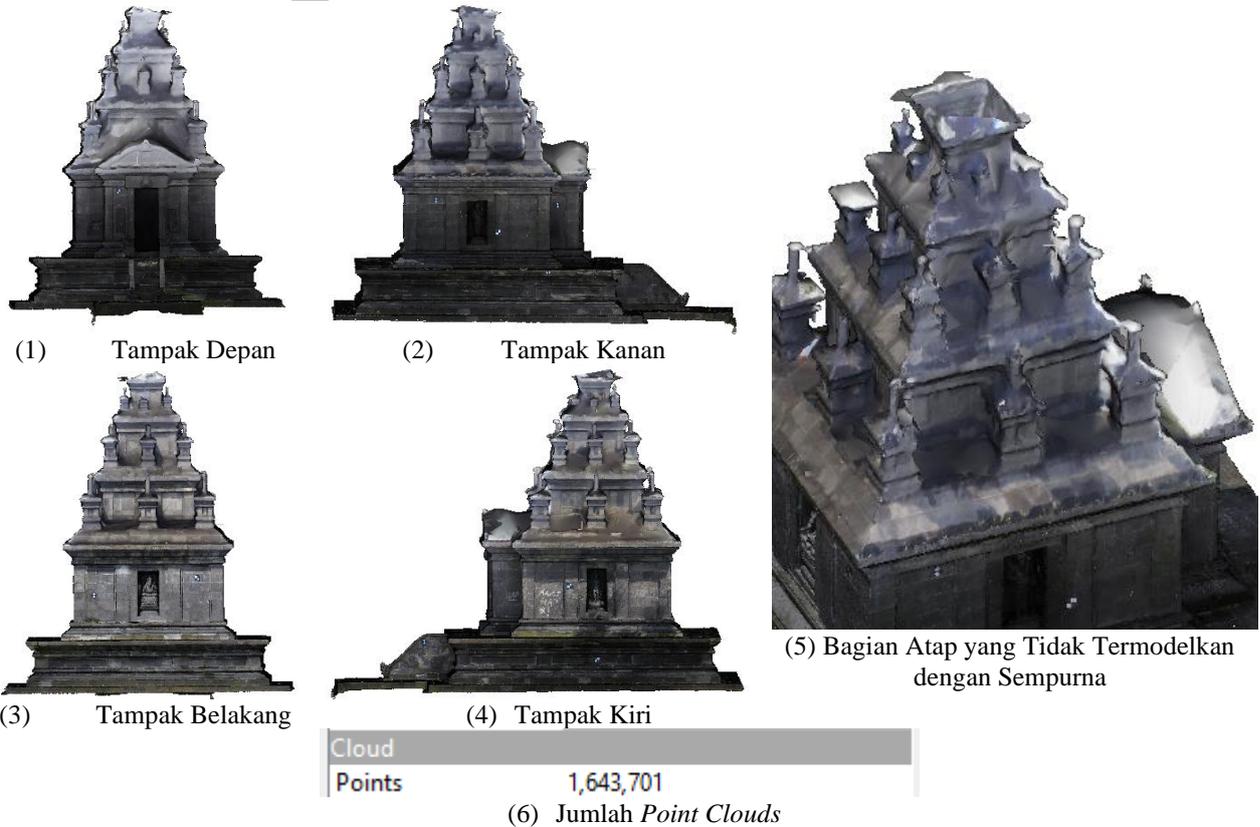
3.2.1 Uji Ketelitian Geometri Posisi dengan ICP

Pengujian ini menggunakan rumus 3 hingga 6 dan dihasilkan hasil perhitungan seperti pada **Tabel 2**. Mengacu pada spesifikasi LOA dengan tipe *Lower Range* pada **Tabel 1** dikarenakan jarak pengambilan data foto kamera DSLR yang sangat dekat dengan objek. Metode DSLR bagian ketelitian posisi horizontal dan vertikal masuk ke dalam kelas UDLOA *Lower Range* dengan nilai CE90 sebesar 0,0904 m dan LE90 sebesar 0,0924 m.

Tabel 2 Hasil Uji Geometrik Posisi

Variabel	Horizontal (m)	Vertikal (m)
Jumlah	0,0177	0,0157

Rata-rata	0,0035	0,0031
RMSE	0,0596	0,0560
CE/LE90	0,0904	0,0924

**Gambar 5** Hasil Model 3D Perangkat DSLR

3.2.2 Uji Hipotesis Mean Populasi

Pengujian hipotesis mean populasi memerlukan data yang telah terdistribusi normal. Didapatkan sampel dari model DSLR yang tidak terdistribusi normal, dikarenakan nilai Dmax yang lebih dari nilai tabel Lilliefors. Data sampel model DSLR belum terdistribusi normal dikarenakan oleh beberapa bagian *error* data jarak yang memiliki nilai yang besar hingga satuan cm. Namun dengan jumlah sampel sebesar 69 data, sesuai dengan penjelasan pada subbab 2.5.1 jumlah sampel yang lebih dari 30, variabel sampel yang merupakan *error* dari selisih geometri bangunan *total station* dengan 3D model DSLR yang bernilai desimal, dan tipe sampel yang berupa *error* atau kesalahan yang memiliki variasi nilai yang kecil (di bawah 1), maka kedua sampel dapat dianggap sudah mendekati data normal dan dapat mengabaikan uji normalitas. Setelah dilakukan pengujian normalitas, dilanjutkan dengan pengujian *T-Test* satu sampel. Pada pengujian *T-Test* satu sampel ini diasumsikan bahwa nilai populasi rata-rata sampel adalah 5 mm, hal ini dikarenakan nilai rata-rata *error* yang mendekati 5 mm dan dengan mengacu pada LOA30 *Lower Range* **Tabel 1** (jarak pengambilan data foto kamera DSLR yang sangat dekat dengan objek yang dimodelkan) dan digunakan hipotesis sebagai berikut :

- Ho : Rata-rata populasi *error* model kurang dari sama dengan 5 mm.
Ha : Rata-rata populasi *error* model lebih dari 5 mm.

Tabel 3 Hasil Uji *T-Test* Satu Variabel

Variabel	Nilai (m)
\bar{y}	0,0173
Jumlah Error	1,1937
μ	0,0050
T tabel	1,6676
T hitung	4,7898
Hipotesis	Ho Ditolak

Ho akan berlaku apabila nilai T hitung kurang dari T tabel, sehingga dapat diartikan bahwa pengujian ini menggunakan solusi *one tailed* arah kanan. Perhitungan t hitung menggunakan rumus 2 dengan interval kepercayaan sebesar 95% dan dihasilkan hasil uji seperti pada **Tabel 3**. Dari model DSLR yang diujikan terhadap batas nilai *error* populasi dengan 5 mm, dihasilkan hipotesis Ho ditolak dan dapat disimpulkan bahwa model DSLR memiliki kelas LOA20 *Lower Range*.

3.3 Analisis Kesesuaian Model Berbiaya Rendah

Pada bagian parameter biaya harga. Pada metode DSLR didapati jumlah harga perangkat sebesar Rp3.250.000,00 dengan biaya sewa per hari sebesar Rp 75.000,00 /hari (Wawancara dengan pemilik toko Semarang Hobby Drone, tanggal 8 Juni 2023 di lokasi toko). Biaya tersebut masih lebih berbiaya rendah dibandingkan dengan biaya sewa perhari scanner TLS RTC360 dari Leica sebesar 20.000.000 rupiah (Wawancara dengan Mas Gilang, tanggal 28 Maret 2023 saat acara pelatihan RTC360 dari Aditama Jasa Bahana). Parameter biaya personil tidak memerlukan adanya sertifikasi dalam penggunaan perangkat DSLR. Pada parameter biaya berat alat, bahwa berat alat DSLR seberat 0,4850 kg. Pada parameter biaya waktu operasional selama 46 menit 25 detik dan pengolahan selama 53 jam 2 menit 14 detik.

4. Simpulan dan Saran

4.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dihasilkan hasil model 3D DSLR yang tidak termodelkan secara menyeluruh dan tidak sesuai pada bagian atap bangunan dengan detail yang tinggi pada bagian ukiran relief dan ukiran patung.
2. Dihasilkan validasi uji geometrik posisi model DSLR bagian ketelitian posisi horizontal dan vertikal masuk ke dalam kelas UDLOA *Lower Range* dengan nilai CE90 sebesar 0,0904 m dan LE90 sebesar 0,0924 m. Lalu pada validasi uji geometrik jarak masuk ke dalam kelas LOA30 *Lower Range* dengan jumlah error sebesar 1,1937 m dan rata-rata *error* sebesar 0,0173 m.
3. Berdasarkan pada hasil perhitungan biaya, kamera DSLR termasuk berbiaya rendah dengan harga alat sebesar Rp3.250.000,00 dan biaya sewa per hari sebesar Rp 75.000,00 /hari. Akan tetapi kamera DSLR tidak direkomendasikan sebagai metode pemodelan 3D berbiaya rendah dikarenakan tidak dapat memodelkan bagian objek yang tinggi dengan baik sebagai bukti pada penelitian ini tidak dapat memodelkan dengan baik pada bagian atap bangunan Candi Tugu.

4.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang berguna untuk pengembangan penelitian selanjutnya :

1. Diperlukannya *workstation* dengan spesifikasi yang tinggi untuk mengolah pemodelan 3D dengan jumlah foto yang besar dan dengan perangkat lunak *opensource* seperti AliceVision Meshroom.
2. Diperlukannya analisis akurasi pemodelan 3D sebagai tambahan parameter penilaian kualitas hasil model 3D.

3. Memperhatikan kesamaan kondisi cahaya saat melakukan akuisisi gambar untuk mendapatkan hasil *texture* model yang sama.
4. Diperlukannya analisis lebih lanjut terkait BIM khususnya pada *heritage building*.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar dari Buku dan Jurnal Penelitian :

- Ajija, S. R., Dyah, W. S., Rahmat, H. S., dan Martha, R. P. (2011): Cara Cerdas Menguasai Eviews, Jakarta: Salemba Empat.
- Alshawabkeh, Y., El-Khalili, M., Almasri, E., Bala'awi, F., dan Al-Massarweh, A. (2020): Heritage documentation using laser scanner and photogrammetry. The case study of Qasr Al-Abidit, Jordan, *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, **16**(July 2018), e00133. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00133>
- Badan Informasi Geospasial (2014): Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar, *Badan Informasi Geospasial. Bogor*, diperoleh melalui situs internet: https://jdih.big.go.id/media/resources/files/law/tUF25Yj2xW_Perka_Ketelitian_Peta_Dasar_-_Salinan.pdf.
- Badan Standardisasi Nasional (2002): SNI 19-6724-2002 Jaring Kontrol Horizontal, diperoleh melalui situs internet: <https://big.go.id/assets/download/sni/SNI/SNI19-6724-2002.pdf>, 94.
- Bruno, N., Mikolajewska, S., Roncella, R., dan Zerbi, A. (2022): Integrated Processing of Photogrammetric and Laser Scanning Data for Frescoes Restoration, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, **46**(2/W1-2022), 105–112. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-105-2022>
- El-Din Fawzy, H. (2019): 3D laser scanning and close-range photogrammetry for buildings documentation: A hybrid technique towards a better accuracy, *Alexandria Engineering Journal*, **58**(4), 1191–1204. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.10.003>
- Ginting, A. P., Yuwono, B. D., dan Awaluddin, M. (2014): Pemantauan Posisi Absolut Stasiun IGS Menggunakan Perangkat Lunak Topcon Tools v.8.2, *Geodesi Undip*, **2**(Sistem Informasi Geografis), 240–252.
- Griwodz, C., Gasparini, S., Calvet, L., Gurdjos, P., Castan, F., Maujean, B., De Lillo, G., dan Lanthony, Y. (2021): *AliceVision Meshroom, MMSys '21: ACM Multimedia Systems Conference, Sept 28â•fiOct 01, 2021, Istanbul, Turkey*, Association for Computing Machinery, **1**, 241–247. <https://doi.org/10.1145/3458305.3478443>

- Hidayat, R. N., Sabri, L. M., dan Awaluddin, M. (2019): Analisis Desain Jaring Gns Berdasarkan Fungsi Presisi (Studi Kasus : Titik Geoid Geometri Kota Semarang), *Jurnal Geodesi Undip*, **8**(1), 48–55.
- Hillman, S., Wallace, L., Reinke, K., dan Jones, S. (2021): A comparison between TLS and UAS LiDAR to represent eucalypt crown fuel characteristics, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **181**(September), 295–307. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.09.008>
- Jarżabek-Rychard, M., dan Maas, H. G. (2023): Modeling of 3D geometry uncertainty in Scan-to-BIM automatic indoor reconstruction, *Automation in Construction*, **154**(March). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105002>
- Kuswadi (2005): *Meningkatkan laba melalui pendekatan akuntansi keuangan dan akuntansi biaya : panduan meningkatkan laba perusahaan di luar usaha-usaha peningkatan penjualan*, Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Marizha Dwi R, Sri Rahayu, dan Ilham Wahyudi (2020): Pengaruh Kecukupan Modal, Risiko Kredit, Profitabilitas, dan Ukuran Bank Terhadap Likuiditas (Studi Pada Perusahaan Perbankan yang Terdaftar di BEI Tahun 2013 - 2018), *Jurnal Akuntansi & Keuangan Unja*, **5**(2), 90–100. <https://doi.org/10.22437/jaku.v5i2.10260>
- Meshroom (2022): Meshroom Manual, , diperoleh 7 Oktober 2022, melalui situs internet: <https://meshroom-manual.readthedocs.io/en/latest/>.
- Mokroš, M., Mikita, T., Singh, A., Tomaščík, J., Chudá, J., Wężyk, P., Kuželka, K., Surový, P., Klimánek, M., Zięba-Kulawik, K., Bobrowski, R., dan Liang, X. (2021): Novel low-cost mobile mapping systems for forest inventories as terrestrial laser scanning alternatives, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **104**. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102512>
- Navratil, G. (2011): *Adjustment computations: spatial data analysis*, *International Journal of Geographical Information Science*, **25**, 326–327. <https://doi.org/10.1080/13658816.2010.501335>
- Niederheiser, R., Mokroš, M., Lange, J., Petschko, H., Prasicek, G., dan Elberink, S. O. (2016): Deriving 3D point clouds from terrestrial photographs - Comparison of different sensors and software, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, **41**(July), 685–692. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B5-685-2016>
- Pix4D (2019): Ground control points: why are they important?, diperoleh 23 Januari 2023, melalui situs internet: <https://www.pix4d.com/blog/why-ground-control-points-important/>.
- Prayogo, L. M., dan Basith, A. (2020): Development and Definition of Prambanan Temple Deformation Monitoring Control Points, *Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, diperoleh melalui situs internet: <https://jurnal.ugm.ac.id/jgise>, **3**(2), 161–167.
- Rahayuningsih, S., Sukmono, A., dan Sasmito, B. (2019): Analisis Haze Removal dengan Metode Haze Optimized Transformation (HOT) dan Metode Advance Haze Optimized Transformation (AHOT) pada Citra SPOT 7 di Wilayah Kota Semarang, *Jurnal Geodesi UNDIP*, diperoleh melalui situs internet: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/26041>, **9**(1), 38–47.
- Riveiro, B., González-Jorge, H., Varela, M., dan Jauregui, D. V. (2013): Validation of terrestrial laser scanning and photogrammetry techniques for the measurement of vertical underclearance and beam geometry in structural inspection of bridges, *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, **46**(1), 784–794. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2012.09.018>
- Rstudio (2022): Uji 1 Populasi dan 2 Populasi dengan Uji t dan Uji z, , diperoleh 25 Januari 2023, melalui situs internet: https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/696450_81f5286cddf44806a15ee43d94378b74.html.
- Salam, M. S. (2016): Pemanfaatan Fotogrametri Rentang Dekat untuk Pemodelan 3D Cagar Budaya Menggunakan Kamera Non-metrik (Studi Kasus: Candi Brahu, Mojokerto), (September), 108.
- Sánchez, J., dan Quirós, E. (2017): Semiautomatic detection and classification of materials in historic buildings with low-cost photogrammetric equipment, *Journal of Cultural Heritage*, **25**, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.11.017>
- Sidharta, Y. A. (2018): Analisis Dan Optimasi Desain Jaring Pengamatan Deformasi Di Kota Surabaya. Departemen Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- U.S. Institute of Building Documentation (2016): USIBD Level of Accuracy (LOA) Specification Guide Document C120 TM [Guide] Version 2.0-2016 Guide for USIBD Document C220 TM: Level of Accuracy (LOA) Specification for Building Documentation.