



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISIS PERBANDINGAN MODEL 3 DIMENSI CANDI SELOGRIYO
MENGUNAKAN TEKNOLOGI *UNMANNED AERIAL VEHICLE*
DIFFERENTIAL REAL-TIME KINEMATIC (UAV DRTK) DAN
TERRESTRIAL LASER SCANNER (TLS)**

TUGAS AKHIR

Fadhil Fathur Rahman

21110118120013

**DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO**

SEMARANG

Januari 2023



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISIS PERBANDINGAN MODEL 3 DIMENSI CANDI SELOGRIYO
MENGUNAKAN TEKNOLOGI *UNMANNED AERIAL VEHICLE*
DIFFERENTIAL REAL-TIME KINEMATIC (UAV DRTK) DAN
TERRESTRIAL LASER SCANNER (TLS)**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana (Strata-1)

Fadhil Fathur Rahman

21110118120013

**DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
Januari 2023**

HALAMAN PERNYATAAN

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk

Telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Fadhil Fathur Rahman

NIM : 21110118120013

Tanda Tangan : 

Tanggal : Desember 2022

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
NAMA : FADHIL FATHUR RAHMAN
NIM : 21110118120013
Jurusan/Departemen : Teknik Geodesi
Judul Skripsi :

ANALISIS PERBANDINGAN MODEL 3 DIMENSI CANDI SELOGRIYO MENGGUNAKAN TEKNOLOGI *UNMANNED AERIAL VEHICLE DIFFERENTIAL REAL-TIME KINEMATIC* (UAV DRTK) DAN *TERRESTRIAL LASER SCANNER* (TLS)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana/ S1 pada Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Yudo Prasetyo, S.T., M.T.

Pembimbing 2 : Nurhadi Bashit, S.T., M.Eng.

Penguji 1 : Bandi Sasmito, S.T., M.T.

Penguji 2 : Dr. Firman Hadi, S.Si., M.T.

()
()
()
()

Semarang, Desember 2021

Departemen Teknik Geodesi
Fakultas Teknik, Universitas
Diponegoro



Dr. Yudo Prasetyo, S.T., MT
NIP. 197904232006041001

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah Robbil ‘Alamin, atas segala nikmat dan karunia yang telah Allah berikan kepada saya, tak hentinya saya mengucapkan syukur atas pencapaian saya hingga saat ini, sampai pada masa perkuliahan saya telah selesai. Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada kedua orang yang telah bersedia selalu merawat, membimbing dan menyayangi penulis dalam keadaan apapun. Dan teruntuk diri saya sendiri, terimakasih sudah mau berjuang, terjatuh dan bangkit kembali sampai sejauh ini.

QS. Al-Insyirah : 5

“Maka sesungguhnya dalam kesulitan itu ada kemudahan”

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Tuhan Yang Maha Esa, Pencipta dan Pemelihara alam semesta, akhirnya Penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, meskipun proses belajar sesungguhnya tak akan pernah berhenti. Tugas akhir ini sesungguhnya bukanlah sebuah kerja individual dan akan sulit terlaksana tanpa bantuan banyak pihak yang tak mungkin Penulis sebutkan satu persatu, namun dengan segala kerendahan hati, Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Yudo Prasetyo, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro sekaligus telah yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyelesaian tugas akhir ini. Dan juga telah menjadi dosen wali saya selama masa perkuliahan.
2. Bapak Nurhadi Bashit, ST., M.Eng., yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Semua Dosen dan Staff Tata Usaha Teknik Geodesi yang memberikan bimbingan dan bantuan selama proses perkuliahan.
4. Kepada kedua orang tua dan saudara saya yang selalu mendukung dan mendoakan saya selama masa hidup saya.
5. Bang Togos Hutagaol yang telah memberikan arahan dan bantuan saat saya mengalami kesulitan dalam akuisisi dan pengolahan data.
6. Kepada Eva Qatrunnada Lathifah yang telah membantu, menemani, berdiskusi dan sabar mendengarkan keluh kesah serta selalu mendukung saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Kepada Tim Fantastic 4 yang telah membantu proses akuisisi data sepanjang penelitian ini berlangsung.
8. Kepada Aliansi Rank S+ dan teman teman Asta (Geodesi Angkatan 2018) yang sudah banyak membantu selama masa perkuliahan.

Akhirnya, Penulis berharap semoga penelitian ini menjadi sumbangsih yang bermanfaat bagi dunia sains dan teknologi di Indonesia, khususnya disiplin keilmuan yang Penulis dalami.

Semarang, Desember 2022

Penyusun

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : FADHIL FATHUR RAHMAN
NIM : 21110118120013
Jurusan/Departemen : TEKNIK GEODESI
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : SKRIPSI

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Noneksklusif Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**ANALISIS PERBANDINGAN MODEL 3 DIMENSI CANDI SELOGRIYO
MENGUNAKAN TEKNOLOGI UNMANNED AERIAL VEHICLE
DIFFERENTIAL REAL-TIME KINEMATIC (UAV DRTK) DAN
TERRESTRIAL LASER SCANNER (TLS)**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : Semarang, Desember 2022

Yang menyatakan



(Fadhil Fathur Rahman)

ABSTRAK

Candi Selogriyo merupakan salah satu candi peninggalan Hindu yang berupa cagar budaya. Pada Desember tahun 1998 Candi Selogriyo pernah mengalami longsor, yang mengakibatkan dilakukan rekontruksi ulang bangunan candi yang memakan waktu cukup lama dan rampung pada tahun 2005. Rekonstruksi dapat dipermudah dengan pemodelan 3 dimensi bangunan candi sekaligus dimanfaatkan untuk konservasi candi sebagai cagar budaya. Metode *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) menjadi salah satu teknologi terkini yang dapat dimanfaatkan dalam pemodelan 3D yang memiliki ketelitian yang tinggi. Namun penggunaan metode *Terrestrial Laser Scanner* memerlukan biaya yang tidak sedikit. Metode pemodelan 3D lain yang memiliki akurasi dan kemampuan yang mirip atau lebih bagus dibandingkan TLS dengan biaya operasional yang lebih rendah dibutuhkan untuk mengatasi hal tersebut. Metode *Unmanned Aerial Vehicle Differential Real-Time Kinematic* (UAV DRTK) dapat menjadi alternatif teknologi yang dapat digunakan untuk pemodelan 3D dengan biaya yang lebih murah. Pada penelitian ini membahas bagaimana ketelitian dari pemodelan 3D menggunakan metode *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dan *Unmanned Aerial Vehicle Differential Real-Time Kinematic* (UAV DRTK). Akuisisi data pada penelitian ini menggunakan TLS Leica RTC360 dan UAV DJI Phantom 4 DRTK. Data TLS yang didapat akan diolah menggunakan *software* Cyclone Register untuk registrasi *point cloud* dan Cyclone 3DR untuk pemodelan 3 dimensinya. Data foto udara hasil perekaman UAV akan diolah menggunakan *software* Trimble Business Center. Hasil dari penelitian ini adalah model 3D bangunan Candi Selogriyo dari pengukuran menggunakan TLS dan UAV. Perhitungan ketelitian hasil pengukuran foto udara yang dilakukan, didapatkan nilai RMSE jarak sebesar 0,005 m, RMSE koordinat X bernilai 0,010 m, RMSE koordinat Y bernilai 0,039 m dan RMSE koordinat Z bernilai 0,014 m. Sedangkan untuk perhitungan ketelitian hasil pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) didapatkan nilai RMSE jarak sebesar 0,002 m, RMSE koordinat X bernilai 0,008 m, RMSE koordinat Y bernilai 0,039 m dan RMSE koordinat Z bernilai 0,009 m. Berdasarkan hasil perhitungan akurasi posisi model lebih kecil dari 0,5 m, pemodelan 3 dimensi Candi Selogriyo masuk ke tingkat *Level of Detail* (LoD) 3, yaitu masuk ke dalam skala model arsitektur (eksterior) dan *landmark*. Teknologi TLS merupakan teknologi yang lebih baik dibandingkan dengan UAV DRTK dalam pemodelan 3 dimensi. Namun, apabila sulit mendapatkan alat TLS, maka UAV DRTK dapat digunakan sebagai gantinya dengan hasil model 3 dimensi yang cukup baik.

Kata Kunci: Akurasi, Candi, Model 3D, *Terrestrial Laser Scanner*, *Unmanned Aerial Vehicle*

ABSTRACT

Selogriyo Temple is one of the Hindu heritage temples in the form of cultural heritage. In December 1998, Selogriyo Temple experienced a landslide, which resulted in the reconstruction of the temple building, which took quite a long time and was completed in 2005. Reconstruction can be facilitated by 3-dimensional modeling of temple buildings, which can also be utilized for temple conservation as cultural heritage. The Terrestrial Laser Scanner (TLS) method is one of the latest technologies that can be used in 3D modeling and has high accuracy. However, using the Terrestrial Laser Scanner method requires a lot of money. Another 3D modeling method that has similar or better accuracy and capabilities than TLS with lower operational costs is needed to overcome this problem. The Unmanned Aerial Vehicle Differential Real-Time Kinematic (UAV DRTK) method can be an alternative technology that can be used for 3D modeling at a lower cost. This research discusses the accuracy of 3D modeling using Terrestrial Laser Scanner (TLS) and Unmanned Aerial Vehicle Differential Real-Time Kinematic (UAV DRTK) methods. In this study, data is collected using the Leica RTC360 TLS and the DJI Phantom 4 DRTK UAV. The TLS data obtained will be processed using Cyclone Register software for point cloud registration and Cyclone 3DR for 3-dimensional modeling. Aerial photo data from UAV recording will be processed using Trimble Business Center software. This study produced a 3D model of the Selogriyo Temple building based on measurements taken with TLS and UAV. Calculation of the accuracy of the results of aerial photography measurements carried out, obtained a distance RMSE value of 0.005 m, the X coordinate RMSE is 0.010 m, the Y coordinate RMSE is 0.039 m and the Z coordinate RMSE is 0.014 m. As for the calculation of the accuracy of the Terrestrial Laser Scanner (TLS) measurement results, the RMSE value of the distance is 0.002 m, the RMSE of the X coordinate is 0.008 m, the RMSE of the Y coordinate is 0.039 m and the RMSE of the Z coordinate is 0.009 m. Based on the results of the calculation of the accuracy of the model position smaller than 0.5 m, the 3-dimensional modeling of Selogriyo Temple is included in the Level of Detail (LoD) 3 level, which is included in the scale of architectural models (exterior) and landmarks. TLS technology is a better technology than UAV DRTK for 3D modeling. However, if it is difficult to obtain a TLS tool, the DRTK UAV can be used instead with fairly good 3D model results.

Keywords: *Accuracy, Temple, 3D Model, Terrestrial Laser Scanner, Unmanned Aerial Vehicle*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Dan Manfaat Penelitian.....	3
I.4 Batasan Masalah.....	3
I.5 Ruang Lingkup	4
I.5.1 Wilayah Penelitian	4
I.5.2 Peralatan dan Data Penelitian.....	5
I.6 Metodologi Penelitian	7
I.6.1 Kerangka Berpikir.....	7
I.6.2 Diagram Alir	8
I.7 Sistematika Penulisan Penelitian.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	11
II.1 Kajian Penelitian Terdahulu	11
II.2 Candi Selogriyo	16
II.3 Konsep Fotogrametri Rentang Dekat	17
II.4 UAV (<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>)	19
II.4.1 <i>Unmanned Aerial Vehicle Differential Real-Time Kinematic</i>	20
II.4.2 Kalibrasi UAV	22
II.5 <i>Terrestrial Laser Scanner</i>	24
II.5.1 Prinsip Pengukuran <i>Terrestrial Laser Scanner</i>	25

II.5.2	<i>Terrestrial Laser Scanner</i> RTC360	28
II.6	Survei GNSS	29
II.7	<i>Total Station</i>	31
II.8	Model 3 Dimensi	33
II.8.1	<i>Level of Detail (LoD)</i>	34
II.8.2	Uji Ketelitian Jarak	35
II.8.3	Uji Ketelitian Posisi	36
II.8.4	Uji Normalitas	37
II.8.5	Uji <i>Paired Sample T-Test</i>	38
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	39
III.1	Tahapan Persiapan	39
III.1.1	Studi Literatur	39
III.1.2	Survei Pendahuluan	39
III.1.3	Persiapan Alat	40
III.1.4	Perizinan Lokasi	43
III.2	Tahapan Akuisisi Data	43
III.2.1	Pengukuran Koordinat Titik Kontrol	43
III.2.2	Pengukuran Koordinat GCP dan ICP	44
III.2.3	Perekaman Struktur Candi	46
III.2.4	Perekaman Data Foto Udara	48
III.2.5	Pengukuran Sampel Jarak	49
III.3	Tahapan Pengolahan Data Titik Kontrol	50
III.3.1	Pengolahan Data Titik Kontrol	50
III.3.2	Pengolahan Data Poligon, GCP dan ICP	53
III.4	Tahapan Pengolahan Data TLS (<i>Terrestrial Laser Scanner</i>)	55
III.4.1	Registrasi	56
III.4.2	<i>Filtering</i> (Penapisan)	57
III.4.3	Georeferensi	58
III.5	Tahapan Pengolahan Data Foto Udara	58
III.6	Tahapan Pengolahan Model 3D TLS (<i>Terrestrial Laser Scanner</i>)	62
III.7	Tahapan Pengolahan Data Validasi	63
III.7.1	Uji Ketelitian Posisi <i>Point Clouds</i>	63
III.7.2	Uji Ketelitian Jarak Model 3D	65
BAB IV	HASIL DAN ANALISIS	67

IV.1	Hasil dan Analisis Pengolahan Koordinat Titik Kontrol.....	67
IV.1.1	Pengecekan Data Pengamatan Satelit	67
IV.1.2	Pengolahan Data Pengamatan Satelit menjadi Koordinat.....	68
IV.2	Hasil dan Analisis Pengolahan Koordinat GCP dan ICP	68
IV.3	Hasil dan Analisis Pengolahan UAV	70
IV.4	Hasil dan Analisis Pengolahan TLS	73
IV.4.1	Registrasi.....	73
IV.4.2	<i>Filtering</i>	77
IV.4.3	Georeferensi	77
IV.4.4	Model 3D	78
IV.5	Uji ketelitian Posisi.....	80
IV.5.1	Uji Ketelitian Posisi <i>Point Clouds</i> UAV.....	80
IV.5.2	Uji Ketelitian Posisi <i>Point Clouds</i> TLS	81
IV.6	Uji Ketelitian Jarak	83
IV.6.1	Uji Ketelitian Jarak Pengolahan UAV	83
IV.6.2	Uji Ketelitian Jarak Pengolahan TLS.....	86
IV.7	Uji Normalitas.....	89
IV.7.1	Uji Normalitas Foto Udara.....	90
IV.7.2	Uji Normalitas TLS.....	90
IV.8	Uji <i>Paired Sample T-Test</i>	91
IV.9	Hasil Perbandingan	93
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	98
V.1	Kesimpulan.....	98
V.2	Saran	99
	DAFTAR PUSTAKA	101
	LAMPIRAN	xviii

DAFTAR GAMBAR

Gambar I-1 Lokasi Desa Kembang Kuning	5
Gambar I-2 Laptop ASUS	6
Gambar I-3 Kerangka Berpikir	7
Gambar I-4 Diagram Alir Penelitian	8
Gambar II-1 Candi Selogriyo	17
Gambar II-2 Prinsip Kolinearitas	18
Gambar II-3 DJI Phantom 4 RTK	19
Gambar II-4 DJI Phantom DRTK	21
Gambar II-5 Kalibrasi Kompas	22
Gambar II-6 Gimbal DJI Phantom 4 RTK	23
Gambar II-7 <i>Remote</i> atau <i>Controller</i> pada UAV	23
Gambar II-8 <i>Terrestrial Laser Scanner</i> (TLS)	24
Gambar II-9 <i>Point Clouds</i>	25
Gambar II-10 Mekanisme Pengukuran Jarak TLS	26
Gambar II-11 Prinsip Perekaman Data dengan TLS	27
Gambar II-12 Leica RTC360	28
Gambar II-13 Alat GNSS	29
Gambar II-14 <i>Total Station</i> (TS) SOKKIA IM-50	32
Gambar II-15 Lima <i>Level of Detail</i>	35
Gambar II-16 Kurva Normal	37
Gambar III-1 GCP dan ICP pada Struktur Candi	39
Gambar III-2 <i>Terrestrial Laser Scanner</i> (TLS) Leica RTC360	40
Gambar III-3 Kalibrasi Kompas dan Pengaturan Kamera	41
Gambar III-4 <i>Receiver</i> GNSS Topcon HiPer SR	41
Gambar III-5 <i>Total Station</i> SOKKIA IM-50	42
Gambar III-6 Pengukuran Koordinat Titik Kontrol	44
Gambar III-7 Sketsa Poligon	45
Gambar III-8 <i>Total Station</i> pada Pengukuran Kerangka Poligon	45
Gambar III-9 <i>Waterpass</i> pada Pengukuran Kerangka Poligon	46
Gambar III-10 Sebaran <i>Station</i> Perekaman TLS	47
Gambar III-11 Perekaman Struktur Candi Menggunakan Leica RTC360	48

Gambar III-12 Penyambungan <i>Remote</i> dengan Wahana UAV dan RTK.....	49
Gambar III-13 Pengambilan Sampel Data Jarak	50
Gambar III-14 Diagram Alir pengolahan Data Titik Kontrol.....	51
Gambar III-15 Konfigurasi pada bagian <i>Control</i>	52
Gambar III-16 Proses Pengolahan Koordinat Titik Kontrol.....	52
Gambar III-17 Diagram Alir Pengolahan Koordinat GCP dan ICP	53
Gambar III-18 Rumus Matriks A pada Metode <i>Least Square</i>	54
Gambar III-19 Konfigurasi pada Bagian Control	54
Gambar III-20 Hasil <i>Compute</i> Koordinat GCP dan ICP	55
Gambar III-21 Diagram Alir Pengolahan <i>Point Cloud</i> TLS.....	55
Gambar III-22 Hasil <i>Import Data Scan</i>	56
Gambar III-23 Penggabungan Data <i>Scan View</i> Antar <i>Setup</i>	57
Gambar III-24 Tampilan Hasil <i>Filtering</i>	57
Gambar III-25 Hasil <i>Georeferencing</i> Titik GCP	58
Gambar III-26 Tahapan Pengolahan <i>Software</i> Trimble Business Center.....	58
Gambar III-27 Hasil Proses <i>3D Reconstruct</i>	59
Gambar III-28 Georeferensi pada Tahapan <i>Measure</i>	60
Gambar III-29 Parameter Kalibrasi	60
Gambar III-30 Hasil Kalibrasi	61
Gambar III-31 Kotak Dialog <i>Radiometric Optimization</i>	61
Gambar III-32 <i>Point Clouds</i> Hasil Pengolahan Foto Udara	62
Gambar III-33 Hasil <i>Meshing</i> Data TLS	63
Gambar III-34 Hasil <i>Texturing</i> Data TLS.....	63
Gambar III-35 Proses Pengukuran Koordinat ICP Model 3D.....	64
Gambar III-36 Pengambilan Sampel Jarak pada Badan Candi.....	66
Gambar III-37 Pengambilan Sampel Jarak pada Model 3D TLS	66
Gambar III-38 Pengambilan Sampel Jarak pada Model 3D Foto Udara.....	66
Gambar IV-1 Hasil <i>Plotting</i> Titik Poligon di Google Earth	70
Gambar IV-2 Model 3D Candi Selogriyo Hasil Pengolahan UAV	72
Gambar IV-3 Bagian Atap Candi.....	73
Gambar IV-4 Hasil Registrasi <i>Point Cloud</i>	74
Gambar IV-5 Histogram Data <i>Overlap</i> Setiap <i>Link</i> pada Perekaman TLS	75

Gambar IV-6 Tampilan Pepohonan dan Semak Belukar pada Lokasi Penelitian	76
Gambar IV-7 Proses <i>Picking Point</i> Manual pada Registrasi <i>Setup</i> 22 dan 25....	76
Gambar IV-8 Histogram Data <i>Abs. Mean Error</i> Setiap <i>Link</i> Perekaman TLS...	76
Gambar IV-9 Hasil <i>Filtering Point Clouds</i> Candi Selogriyo.....	77
Gambar IV-10 Posisi Titik C17 dari <i>Setup</i> 16 dan <i>Setup</i> 18.....	78
Gambar IV-11 Model 3D Candi Selogriyo Hasil Pengolahan Data TLS	79
Gambar IV-12 Histogram Uji Ketelitian Jarak Model 3D UAV	85
Gambar IV-13 Histogram Selisih Jarak di Lapangan dan Model 3D UAV.....	86
Gambar IV-14 Histogram Uji Ketelitian Jarak Model 3D TLS	88
Gambar IV-15 Histogram Selisih Jarak di Lapangan dan Model 3D TLS	89
Gambar IV-16 Hasil Uji Normalitas Kolmogorov Smirnov Sampel Jarak UAV	90
Gambar IV-17 Hasil Uji Normalitas Kolmogorov Smirnov Sampel Jarak TLS	91
Gambar IV-18 Hasil Uji <i>Paired Sample T-Test</i>	93

DAFTAR TABEL

Tabel I-1 Data Penelitian.....	6
Tabel II-1 Kajian Penelitian Terdahulu	11
Tabel II-2 Spesifikasi UAV DJI Phantom 4 DRTK	20
Tabel II-3 Spesifikasi TLS Leica RTC360	29
Tabel II-4 Spesifikasi GNSS Tocon HiPer SR	30
Tabel II-5 Spesifikasi <i>Total Station Reflectorless</i> tipe SOKKIA IM-50	32
Tabel II-6 Persyaratan Model 3D Bangunan pada <i>CityGML</i>	35
Tabel III-1 Uji Indeks Vertikal dan Kesalahan Sudut Kolimasi.....	42
Tabel III-2 Pengecekan Alat <i>Waterpass</i>	43
Tabel III-3 Koordinat ICP Pengukuran <i>Total Station</i>	64
Tabel III-4 Koordinat ICP Pengukuran TLS dan UAV	65
Tabel IV-1 Hasil pengecekan perekaman data satelit menggunakan TEQC	67
Tabel IV-2 Hasil proses <i>GPS+ Processing</i> Jaring titik kontrol.....	68
Tabel IV-3 Hasil <i>Adjustment</i> Jaring titik kontrol	68
Tabel IV-4 Hasil Perhitungan <i>Least Square</i> KKH dan KKV	69
Tabel IV-5 Hasil Akhir Koordinat Poligon.....	69
Tabel IV-6 Hasil Komputasi Koordinat GCP dan ICP	70
Tabel IV-7 <i>Object Control Point</i>	71
Tabel IV-8 Persentasi <i>Overlap Absolute Mean Error</i> Setiap <i>Link</i>	74
Tabel IV-9 Kesalahan Registrasi <i>Point Clouds</i>	78
Tabel IV-10 Uji Ketelitian Posisi <i>Point Clouds</i> Foto Udara.....	80
Tabel IV-11 Uji Ketelitian Posisi <i>Point Clouds</i> TLS.....	82
Tabel IV-12 Uji Ketelitian Jarak UAV	83
Tabel IV-13 Uji Ketelitian Jarak TLS.....	86
Tabel IV-14 Data Uji <i>Paired Sample T Test</i>	92
Tabel IV-15 Perbedaan Hasil Model 3D Metode TLS dan UAV	94
Tabel IV-16 Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan TLS dan UAV DRTK	96

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumen Asistensi.....	L1
Lampiran 2 Surat Perizinan Pengambilan dan Permohonan Data	L2
Lampiran 3 Kalibrasi Alat.....	L3
Lampiran 4 <i>Sampling</i> Data Uji Alat GNSS	L4
Lampiran 5 <i>Sampling</i> Data Pengamatan GNSS.....	L5
Lampiran 6 <i>Sampling</i> Data Pengukuran Total Station.....	L6
Lampiran 7 Perhitungan Kerangka Vertikal	L7
Lampiran 8 Perhitungan Kerangka Horizontal	L8
Lampiran 9 Uji Ketelitian Posisi dan Uji Ketelitian Jarak.....	L9
Lampiran 10 <i>Sampling</i> Data Foto Udara	L10
Lampiran 11 Pemodelan 3 Dimensi TLS dan UAV	L11
Lampiran 12 Sampel Validasi Jarak	L12
Lampiran 13 Dokumentasi.....	L13

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Candi Selogriyo merupakan peninggalan masa kejayaan Hindu abad ke-8 Masehi. Candi Selogriyo berlokasi di Dusun Campurrejo, Desa Kembang Kuning, Kecamatan Windusari, Kabupaten Magelang. Candi Selogriyo pernah mengalami kerusakan yang diakibatkan oleh longsornya tanah tempat candi ini berdiri pada bulan Desember tahun 1998 yang memporak-porandakan bangunan candi dan sekitarnya (perpusnas, 2014). Oleh karena itu, candi memerlukan waktu rekonstruksi yang cukup lama sampai tahun 2005. Proses rekonstruksi candi membutuhkan cara yang memudahkan dalam proses rekonstruksi candi apabila hal tersebut terulang kembali. Candi Selogriyo juga merupakan bangunan peninggalan sejarah dan dapat menjadi aset kekayaan milik bangsa perlu dilakukan pelestarian dan pendokumentasian, sesuai dengan Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2010 pasal 53 ayat 4 mengenai Cagar Budaya, yaitu pelestarian cagar budaya harus didukung oleh kegiatan pendokumentasian. Pemodelan 3 dimensi dapat dimanfaatkan sebagai upaya dalam mempermudah proses rekonstruksi candi apabila sewaktu-waktu dibutuhkan sekaligus dapat dimanfaatkan sebagai proses pendokumentasian untuk pelestarian bangunan candi.

Semakin berkembangnya zaman, maka berkembang pula teknologi, tidak terkecuali teknologi dalam pemodelan 3D. Pemodelan 3D dapat dilakukan dengan beragam cara, yang sering digunakan adalah menggunakan *Terrestrial Laser Scanner*. Teknologi TLS memiliki akurasi tinggi dengan akuisisi data yang cukup cepat, namun pengukuran menggunakan alat TLS memerlukan biaya yang tidak sedikit. Hal inilah yang kadang menjadi kelemahan penggunaan metode ini. Teknologi pemodelan 3D lain yang memiliki akurasi yang mirip atau bahkan lebih bagus dibandingkan dengan penggunaan TLS, tetapi dengan biaya dan waktu yang lebih sedikit dibutuhkan untuk mengatasi hal tersebut. Teknologi UAV dapat dijadikan sebagai metode lain dalam pemodelan 3 dimensi dengan biaya yang lebih minim dan dengan waktu akuisisi data yang relatif singkat juga.

Penelitian Simón Peñna-Villasenín tahun 2019 memodelkan 3D seni cadas

dalam deteksi ukiran dengan menggunakan metode SfM dan *Terrestrial Laser Scanning* (TLS). Penelitian tersebut menghasilkan akurasi yang sangat baik dari kedua metode tersebut, yaitu lebih kecil dari 2 mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metodologi fotogrametri SfM yang sangat sederhana memungkinkan untuk memperoleh hasil yang dalam aspek geometris dan visual mendekati dengan hasil pengukuran TLS.

Metode *Unmanned Aerial Vehicle Differential Real-Time Kinematic* (UAV DRTK) dapat menjadi alternatif teknologi yang dapat digunakan untuk pemodelan 3D dengan biaya yang lebih murah. Penelitian ini dilakukan untuk membuat model 3 dimensi dari Candi Selogriyo dengan menggunakan metode *Unmanned Aerial Vehicle Differential Real-Time Kinematic* (UAV DRTK) dan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). Penelitian ini membahas bagaimana ketelitian dari pemodelan 3D menggunakan metode *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dan *Unmanned Aerial Vehicle Differential Real-Time Kinematic* (UAV DRTK). Pengukuran menggunakan UAV DRTK akan diterbangkan secara manual dan *point cloud* hasil pengukuran menggunakan TLS diregistrasi menggunakan metode *cloud to cloud*. Hasil pemodelan 3D dari kedua teknologi tersebut nantinya akan dilakukan analisis kualitatif dan analisis kuantitatif. Hasil dari penelitian ini nantinya dapat digunakan sebagai upaya dalam pelestarian Cagar Budaya dengan cara pendokumentasian Cagar Budaya dan digunakan sebagai acuan untuk pemeliharaan bangunan candi di masa depan.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana analisis hasil pemodelan 3D menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle Differential Real-Time Kinematic* (UAV DRTK) dan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS)?
2. Bagaimana analisis perbandingan akurasi hasil pemodelan 3D menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle Differential Real-Time Kinematic* (UAV DRTK) dan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) berdasarkan hasil validasi pengamatan lapangan menggunakan alat *Total Station Reflectorless*?
3. Bagaimana analisis perbandingan akurasi hasil pemodelan 3D menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle Differential Real-Time Kinematic* (UAV DRTK)

dan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) berdasarkan hasil uji statistik yang meliputi uji normalitas dan uji *paired sample t test*?

I.3 Tujuan Dan Manfaat Penelitian

1. Tujuan dari pelaksanaan penelitian ini adalah:
 - a. Mengetahui analisis hasil pemodelan 3D menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle Differential Real-Time Kinematic* (UAV DRTK) dan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS).
 - b. Mengetahui analisis perbandingan akurasi hasil pemodelan 3D menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle Differential Real-Time Kinematic* (UAV DRTK) dan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) berdasarkan hasil validasi pengamatan lapangan menggunakan alat *Total Station Reflectorless*.
 - c. Mengetahui analisis perbandingan akurasi hasil pemodelan 3D menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle Differential Real-Time Kinematic* (UAV DRTK) dan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) berdasarkan hasil uji statistik yang meliputi uji normalitas dan uji *paired sample t test*.
2. Manfaat dari pelaksanaan penelitian ini sebagai berikut:
 - a. Segi Kerekayasaan
Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai upaya pelestarian dan pemeliharaan struktur bangunan candi berupa pendokumentasian candi dalam bentuk 3D.
 - b. Segi Keilmuan
Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam pemilihan teknologi yang lebih baik dan efisien digunakan untuk pemodelan 3D, khususnya bangunan candi.

I.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi oleh hal-hal berikut:

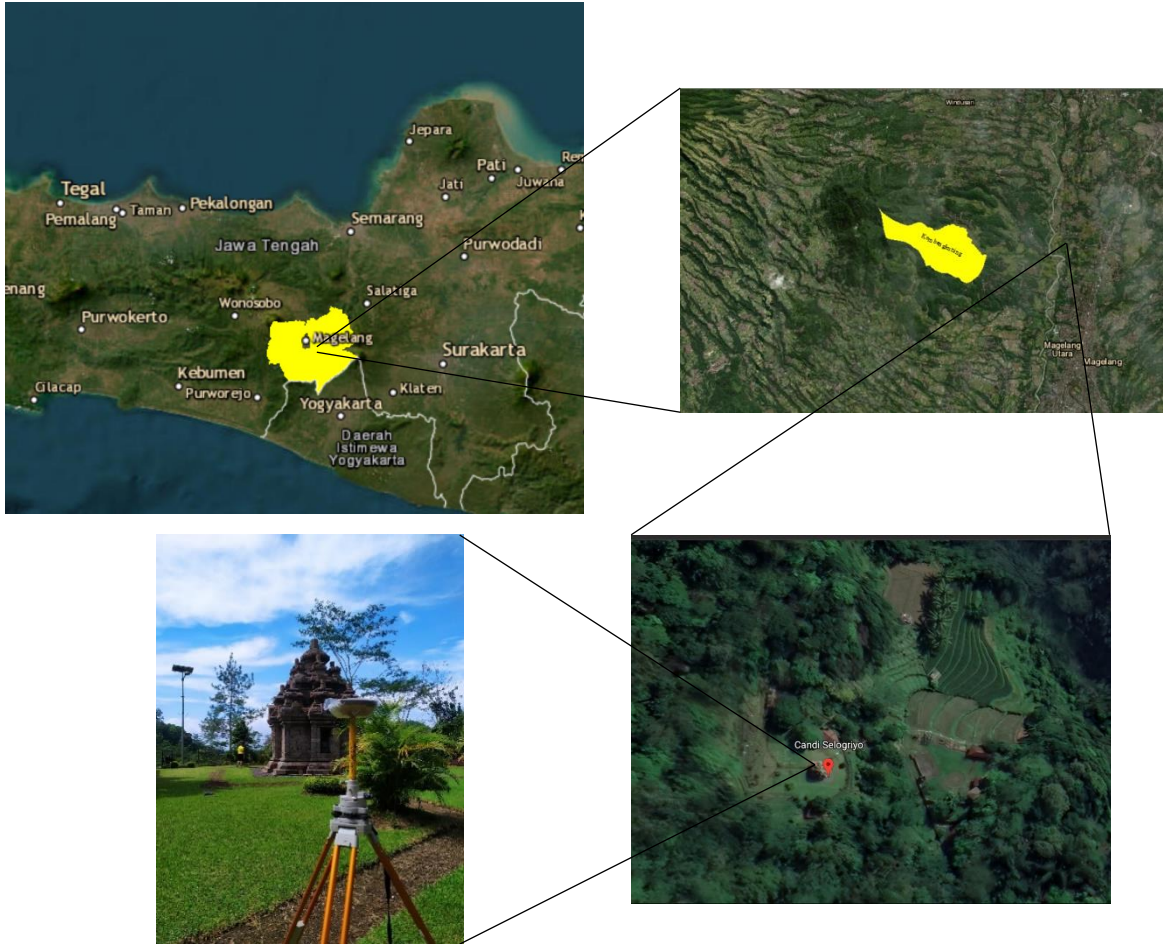
1. Objek yang akan dijadikan sebagai objek penelitian adalah Candi Selogriyo yang berada di Dusun Campurrejo, Desa Kembangkuning, Kecamatan Windusari, Kabupaten Magelang.

2. Akuisisi data untuk pemodelan 3D struktur candi menggunakan metode *Unmanned Aerial Vehicle Differential Real-Time Kinematic* (UAV DRTK) dan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS).
3. Pengolahan hasil akuisisi data berupa foto udara akan diolah menggunakan perangkat lunak Trimble Business Center dan data *point clouds* hasil pengukuran TLS diolah menggunakan metode *cloud to cloud*.
4. Validasi geometrik dilakukan dengan membandingkan kedua hasil model 3D dengan data pengukuran *Total Station Reflectorless* di lapangan.
5. Analisis visualisasi berupa warna serta bentuk kedua model 3D.
6. Validasi jarak dilakukan dengan mengukur jarak titik sampel pada model 3D dengan hasil ukuran di lapangan menggunakan meteran baja.
7. Sampel jarak yang digunakan untuk validasi jarak berada pada bagian bawah struktur candi.

I.5 Ruang Lingkup

I.5.1 Wilayah Penelitian

Lokasi dari objek penelitian ini terletak di pedalaman Kecamatan Windusari, Magelang, Jawa Tengah (perpusnas, 2014). Terletak pada $7^{\circ}25'28,60''$ Lintang Selatan dan $110^{\circ}10'3,50''$ Bujur Timur, berada di antara Bukit Condong, Giyanti dan Malang. Candi ini terletak tersembunyi di daerah yang cukup terpencil. Sebelah timur candi merupakan pintu masuk ke lokasi candi dari pemukiman penduduk berupa jalan berbatu sekitar 2 km, sebelah selatan berupa hutan, dan sebelah utara terdapat air terjun sekitar 2 km dari candi.



Gambar I-1 Lokasi Desa Kembang Kuning

I.5.2 Peralatan dan Data Penelitian

A. Peralatan

1. Perangkat keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini yang dapat dilihat pada dengan spesifikasi sebagai berikut:

a) Laptop

Tipe Komputer	: ASUS
Sistem Operasi	: Windows 10 Home Single Language 64-bit
Tipe Sistem	: 64-bit operating system, x64-based processor
Tipe Processor	: Intel(R) Core (TM) i7-8550U CPU @ 1.80GHz 1.99 GHz
Kapasitas RAM	: 8.00Gb



Gambar I-2 Laptop ASUS

- b) *Unmanned Aerial Vehicle* DRTK tipe DJI Phantom 4 DRTK
- c) *Reciver* GNSS Tipe Topcon HiPer SR
- d) *Terrestrial Laser Scanner* tipe Leica RTC360
- e) *Total Station Reflectorless* tipe Sokkia IM-105
- f) *Waterpass* Geomaxx ZDL700.

2. Perangkat Lunak (*Software*)

- a) Leica Cyclone Register 360
- b) Leica Cyclone 3DR
- c) Trimble Business Center
- d) Microsoft Windows 10 Home
- e) Microsoft Office 2016

B. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini secara rinci dapat dilihat pada Tabel 1-1.

Tabel I-1 Data Penelitian

No	Data	Sumber	Tahun	Keterangan
1.	Koordinat Titik CORS CMGL	Badan Informasi Geospasial	2022	Data ini merupakan data koordinat dalam proyeksi UTM dari titik CORS dengan <i>antenna</i> LEIAR25 dan Receiver SEPT POLARX5.
2	<i>Point Clouds</i> dan foto udara Candi Selogriyo	Pengukuran	2022	Pengukuran dilakukan menggunakan TLS Leica RTC360
3	Koordinat Titik Kontrol	Pengukuran	2022	Pengamatan GNSS dilakukan menggunakan Topcon HiPer II dan HiPer SR.

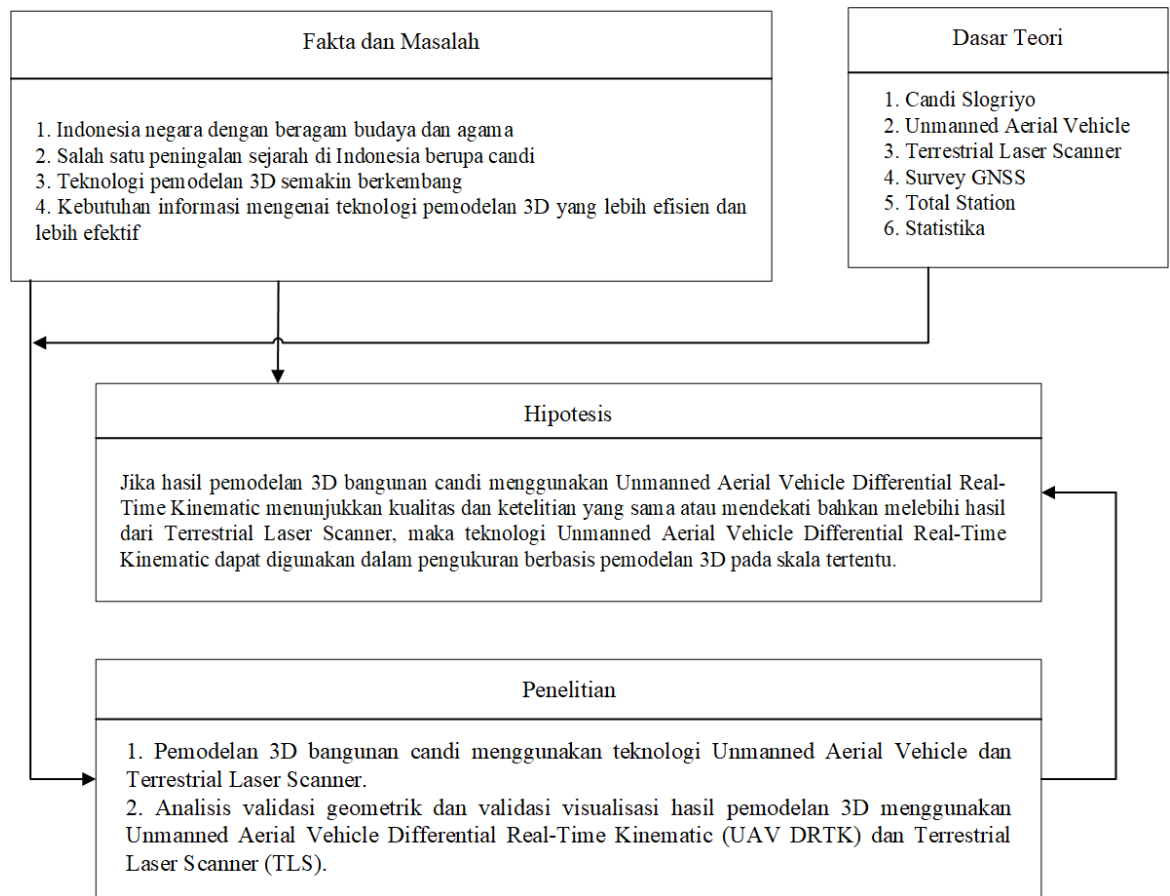
Tabel I-1 Data Penelitian (Lanjutan)

No	Data	Sumber	Tahun	Keterangan
4	Koordinat GCP dan ICP	Pengukuran	2022	Pengukuran Koordinat GCP dan ICP dilakukan menggunakan Waterpass dan <i>Total Station</i> Sokkia iM50.

I.6 Metodologi Penelitian

I.6.1 Kerangka Berpikir

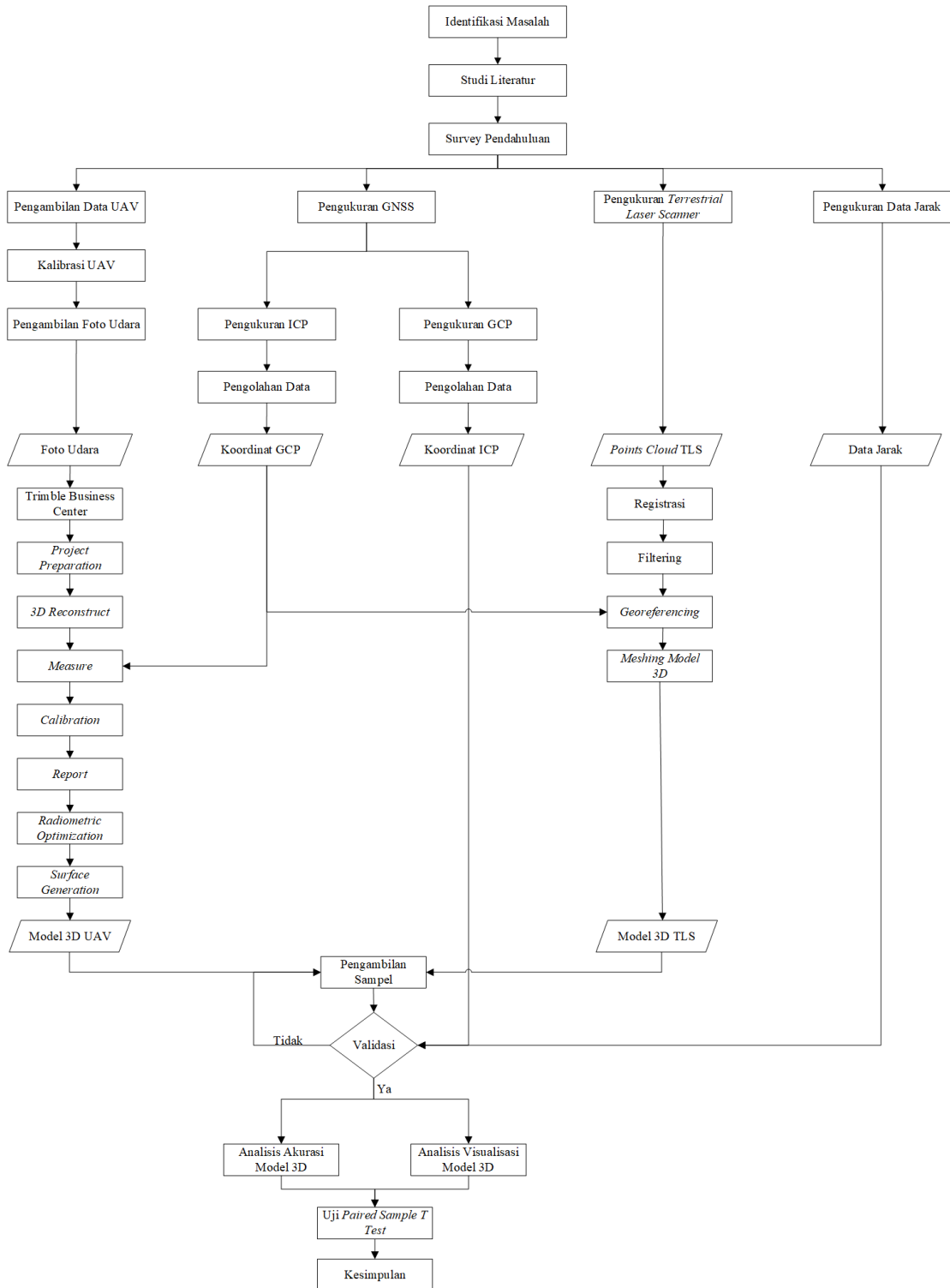
Kerangka berpikir pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yang dapat dilihat pada Gambar I-3.



Gambar I-3 Kerangka Berpikir

I.6.2 Diagram Alir

Penelitian ini terbagi menjadi 4 tahapan yang dapat dilihat pada Gambar I-4.



Gambar I-4 Diagram Alir Penelitian

Tahap penelitian terdiri atas:

1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan ini terdiri atas pengidentifikasian masalah, studi literatur mengenai penelitian dan melakukan survei pendahuluan.

2. Tahap Akuisisi

Tahap akuisisi ini dilakukan beberapa pengukuran, yaitu melakukan pengukuran GNSS untuk mengetahui koordinat titik kontrol, lalu menggunakan *Total station reflectorless* untuk mengukur GCP dan ICP. Dilakukan pemotretan udara menggunakan wahana UAV untuk mendapatkan foto udara objek penelitian. Melakukan pemindaian objek penelitian menggunakan TLS untuk mendapatkan data *point clouds*.

3. Tahap Pengolahan

Tahap pengolahan ini dilakukan pengolahan dari data-data yang didapatkan sebelumnya. Yaitu data hasil pengukuran GNSS serta GCP dan ICP untuk mendapatkan koordinatnya, pengolahan data hasil pemotretan udara serta data hasil pengukuran TLS untuk mendapatkan model 3D dari objek candi tersebut.

4. Tahap Analisis

Tahap analisis ini dilakukan proses validasi serta analisis jarak dari model 3D struktur candi yang dihasilkan menggunakan metode TLS dan UAV.

I.7 Sistematika Penulisan Penelitian

Sistematika penulisan penelitian ini diharapkan dapat menggambarkan struktur laporan agar lebih jelas dan terarah. Adapun sistematika penulisannya adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, metodologi penelitian sampai sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan mengenai teori-teori yang mendukung dalam penelitian ini. Digunakan sebagai upaya mempertajam literatur bagi pembaca. Beberapa topik yang diambil seperti Penelitian Terdahulu, Gambaran Umum Lokasi Penelitian,

Candi Selogriyo, *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*, *Terrestrial Laser Scanner*, *Total Station*, Survei GNSS, dan Uji Ketelitian Hasil Pengukuran.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tahapan-tahapan yang terdiri dari tahapan persiapan, tahapan akuisisi data, tahapan pengolahan data titik kontrol, tahapan pengolahan data *Terrestrial Laser Scanner (TLS)*, tahapan pengolahan data foto udara, tahapan pengolahan model 3D dan tahapan pengolahan data validasi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi mengenai hasil dan analisis pengolahan koordinat titik kontrol, hasil dan analisis pengolahan koordinat GCP dan ICP, hasil dan analisis pengolahan foto udara, hasil dan analisis pengolahan *point clouds*, uji ketelitian posisi dan uji ketelitian jarak.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan penelitian dan saran bagi penelitian selanjutnya

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2006). *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: PT.
- Agustin, W. (2015). *Kajian Perbandingan Kalibrasi Kamera pada Media Orthofoto in The Flight Calibration dan On Laboratory Calibration*. Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang.
- Artur dkk. (2019). *The use of TLS and UAV methods for measurement of the repose angle of granular materials in terrain conditions*. Measurement.
- Atkinson, K. (1996). *Close range Photogrammetry and machine vision*. Scotland, UK: Whittles Publishing.
- Atkinson, K. (1996). *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland, UK: Whittles Publishing.
- Basuki, S. (2006). *Ilmu Ukur Tanah*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Belton, D. (2008). Classification and Segmentation of 3D Terrestrial Laser Scanner Point Clouds. *Department of Spatial Sciences Cooperative Research Centre for Spatial Information*.
- Belton, D. (2008). *Classification and Segmentation of 3D Terrestrial Laser Scanner Point Clouds*. Bentley: Department of Spatial Sciences .
- Bone dan Bolkcom. (2003). Unmanned Aerial Vehicles: Background and Issues for Congress. *Congressional Research Service*.
- Budiwanto, S. (2017). *Metoda Statistika untuk Mengolah Data Keolahraagaan*. Malang: Fakultas Ilmu Keolahraagaan Universitas Negeri Malang.
- DJI. (2018). *Phantom 4 DRTK*. Retrieved from DJI: <https://www.dji.com/id/phantom-4-rtk>
- DJI. (2020). *Phantom 4 Pro*. Retrieved from DJI Phantom 4 Pro: <https://www.dji.com/phantom-4-pro>
- dji. (2022). *www.dji.com*. Retrieved from PHANTOM 4 RTK: <https://www.dji.com/phantom-4-rtk>
- Doran. (2020). *Jangan Sampai Salah, Cara Kalibrasi Drone Sesuai Prosedur Panduan DJI*. Retrieved from Doran Gadget: https://dorangadget.com/cara-kalibrasi-drone-sesuai-prosedur/#Cara_Kalibrasi_Drone_DJI

- Doran. (2021). *Cara Kalibrasi Drone DJI Sesuai Prosedur Panduan*. Retrieved from Doran Gadget: <https://dorangadget.com/cara-kalibrasi-drone-sesuai-prosedur/#>
- Doran. (2022). *Panduan DJI GO dan Pengertian Istilah-Istilah Fitur Drone DJI*. Diambil kembali dari Doran Gadget: <https://dorangadget.com/panduan-dji-go-istilah-fitur-drone-dji/#:~:text=Dorangadget.com%20E2%80%93%20DJI%20GO%20adalah,berbagai%20fitur%20penerbangan%20canggih%20DJI>
- Doran, G. (2020). *Jangan Sampai Salah, Cara Kalibrasi Drone Sesuai Prosedur Panduan DJI*. Retrieved from Doran Gadget: <https://dorangadget.com/cara-kalibrasi-drone-sesuai-prosedur>
- Earth, G. (2022).
- Eisenbeiss, H. (2009). *UAV photogrammetry*. Zurich: ETH Zurich.
- Eticon. (2020). *Total Station dalam Pengukuran dan Survei*. Retrieved from <https://eticon.co.id/>: <https://eticon.co.id/total-station/>
- FDS. (2019). *Full Drone Solutions*. Retrieved from <https://www.fulldronesolutions.com/cara-kalibrasi-drone-tips-singkat-dan-mudah-agar-drone-stabil-tidak-terbang-miring/>
- Geosystems, L. (2022). *Leica Geosystems*. Retrieved from <https://leica-geosystems.com/>: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>
- Gozali, I. (2016). *Aplikasi Analisis Multivariete Dengan Program IBM SPSS 23*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Gröger, G. (2006). *Candidate OpenGIS® CityGML Implementation Specification*. Arlington: the Special Interest Group 3D (SIG 3D).
- Hanief, F. A. (2017). *Pengaruh Tradisi Membaca Manaqib Syaikh Abdul Qodir Al Jailaniy dalam Upaya Meningkatkan Kecerdasan Spiritual Santriwati Pondok Pesantren Ahmada Al Hikmah Purwoasri Kediri*. Surabaya: Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.
- Helmi dan Lutfi. (2014). *Analisis Data untuk Riset Manajemen dan Bisnis*. Medan: USU Press.

- Huang, M. (2021). *Accuracy evaluation of a new generic Trajectory Prediction model for. Aerospace Science and Technology*, Aerospace Science and Technology 119 (2021) 107160.
- Invicom. (2015). *www.invicom.net*. Retrieved from *Drone DJI Phantom 4 Pro+*: <https://www.invicom.net/products/drone/drone-dji-phantom-4-pro>
- Juniastuti, S. (2008). *View-Dependent Level Of Detail (LOD) Untuk Penggambaran Terrain*. Seminar on Intelligent Technology and Its Applications 2008, ISBN 978-979-8897-24-5.
- Kafiar, M. T. (2020). *Visualisasi 3D Modelling dari Hasil Kombinasi Kamera DSLR dan UAV dengan Metode Close Range Photogrammetry (Studi Kasus : Objek Plengsengan, Bendungan Sengkaling, Desa Tegal Gondo, Kecamatan Karang Ploso, Kabupaten Malang)*. Malang: Program Studi Teknik Geodesi Geoinformatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang.
- Keen, A. (2020). *floor-dynamics.com*. Retrieved from Using laser scanners to measure floor surface regularity: <https://floor-dynamics.com/using-laser-scanners-to-measure-floor-surface-regularity/>
- Khedi. (2015). *Memahami Cara Kerja Drone, Awam Musti Baca!* Retrieved from <https://techno.khedisfile.com/2015/07/24/memahami-cara-kerja-droneawam-musti-baca/>
- Maryanto, D. A. (2007). *Seri Fakta dan Rahasia di Balik Candi: Mengenal*. Yogyakarta: Citra Aji Parama.
- Muwaffaq, A. (2016). *Modelling and Quality Control for 3D UAV Mapping*. School of Civil and Environmental Engineering.
- Naryoko, Prasetyo, Y., dan Nugraha, A. L. (2019). *Kajian Terapan Teknologi UAV dan SIG dalam Pembuatan Peta Desa Skala 1:1000 untuk Wilayah RW-04 Kelurahan Tembalang Tahu 2017*. Jurnal Geodesi Undip.
- Notoatmodjo, S. (2012). *Metode Penelitian Kesehatan*. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- Open Geospatial Consortium. (2006). *Candidate OpenGIS CityGML Implementation Specification (City Geography Markup Language)*. Open Geospatial Consortium Inc.

- perpusnas. (2014). *candi.perpusnas.go.id*. Retrieved from Candi Selogriyo: https://candi.perpusnas.go.id/temples/deskripsi-jawa_tengah-candi_selogriyo_58
- Plaza. (2018). *PlazaGPS*. Retrieved from DJI PHANTOM 4 RTK + D-RTK 2 MOBILE STATION COMBO: <http://www.plazagps.com/jual-drone-jakarta/-dji-phantom-4-rtk-d-rtk-2-mobile-station-combo-763.html>
- Prindle, D. (2018). *DJI Phantom 4 Pro review*. Retrieved from <https://www.digitaltrends.com/drone-reviews/dji-phantom-4-pro-review/>
- Purnomo, L. (2018). *Tutorial pemetaan menggunakan DroneDeploy*. Retrieved from Tutorial Liu Purnomo: <https://liupurnomo.com/tutorial-pemetaan-menggunakan-dronedeploy/>
- Quintero. (2008). *Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning*. Project (3D Risk Mapping).
- Raharjo, S. (2014). *Cara Melakukan Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov dengan SPSS*. Retrieved from spssindonesia: <http://www.spssindonesia.com/2014/01/uji-normalitas-kolmogorov-smirnov-spss.html>
- raharjo, S. (2014). *UJI NORMALITAS*. Retrieved from SPSSIndonesia: <http://www.spssindonesia.com/2014/01/uji-normalitas-kolmogorov-smirnov-spss.html>
- Rahmawan, I. (2017). *Panduan Digitasi dan Generate Kontur menggunakan 3D Stereoplotter pada SUMMIT EVOLUTION*. Bogor: PT. Sarana Geospasial Terpadu.
- Rana Mulyono, Y. E. (2018). *Analisis Pemodelan 3d Candi Jawi Menggunakan Wahana Quadcopter dan Terrestrial Laser Scanner (TLS)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Reshetyuk, Y. (2009). *Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning*. Stockholm: VDM Verlag.
- Sarwono, J. (2012). *Statistik Terapan Aplikasi Untuk Riset Skripsi, Tesis dan Disertasi Menggunakan SPSS, AMOS dan Excel*. In J. d. Sarwono. Jakarta: Elex Media Komputindo.

- Sarwono, J., dan Budiono, H. (2012). *Statistik Terapan Aplikasi Untuk Riset Skripsi, Tesis Dan Disertasi Menggunakan SPSS, AMOS Dan Excel*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Soeta'at. (1994). *Fotogrametri Analitik*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- ss-surveycilacap. (2018). *www.ss-surveycilacap.com*. Retrieved from SOKKIA iM-50 Series: <https://www.ss-surveycilacap.com/product/sokkia-im-50-series/>
- Sularso, P. (2014). *Candi Selogriyo*. Retrieved from Perpustakaan Nasional Republik Indonesia: https://candi.perpusnas.go.id/temples/deskripsi-jawa_tengah-candi_selogriyo_58
- tellusmeridian. (2022). *tellusmeridian.com*. Retrieved from GNSS Survey: <https://tellusmeridian.com/gps-surveying/>
- Topcon. (2022). *Hiper SR Extended Range Site Receiver*. Topcon Corporation.
- Topcon. (2022). *iM-50 Series High Quality, High Return!* Topcon Corporation.
- Trimble. (2022, 02 14). *Tekla and Trimble* . Retrieved from Trimble: <https://www.tekla.com/id/ragam/tekla-trimble>
- tuguwisata. (2021). *Candi Selogriyo Ini Bisa Dibilang “Nyempil” Di Balik Perbukitan*. Retrieved from TUGU WISATA: <https://www.tuguwisata.com/candi-selogriyo/>
- tuguwisata. (2022). <https://www.tuguwisata.com/>. Retrieved from Candi Selogriyo Ini Bisa Dibilang “Nyempil” Di Balik Perbukitan: <https://www.tuguwisata.com/candi-selogriyo/>
- Unimma, A. (2021). *Candi Selogriyo*. Retrieved from UNIMMA FM: <https://www.876fm.com/candi-selogriyo-2/>
- UNOOSA. (2011). *10 Years of Achievement of the United Nations on Global Navigation Satellite Systems*. New York.
- Wibowo, H. W. (2013). Pengukuran Plant Satellite Nilam 2 Pt.Vico Indonesia Menggunakan Laser Scanner Scanstation 2 Dengan Registrasi Metode Target To Target. *Tugas Akhir UGM Yogyakarta*.
- Wolf, P. (2014). *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS*. New York: McGraw-Hill Education.

Wolf, P. R. (1993). *Elemen fotogrametri : dengan interpretasi foto udara dan penginderaan jauh / Paul R. Wolf ; penerjemah Gunadi, Totok Gunawan, Zuharnen , penyunting Sutanto*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.