



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**KAJIAN PERBANDINGAN MODEL 3 DIMENSI
MENGUNAKAN TEKNOLOGI
TERRESTRIAL LASER SCANNER (TLS)
LEICA RTC360 DAN LEICA BLK2GO
(STUDI KASUS: CANDI MENDUT, KABUPATEN MAGELANG)**

TUGAS AKHIR

Muhammad Aditya Henla

21110118130062

DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS DIPONEGORO

JANUARI 2023



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**KAJIAN PERBANDINGAN MODEL 3 DIMENSI
MENGUNAKAN TEKNOLOGI
TERRESTRIAL LASER SCANNER (TLS)
LEICA RTC360 DAN LEICA BLK2GO
(STUDI KASUS: CANDI MENDUT, KABUPATEN MAGELANG)**

TUGAS AKHIR

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


Muhammad Aditya Henla

21110118130062

**DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
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 : Muhammad Aditya Henla
NIM : 21110118130062
Tanda Tangan : 
Tanggal : 2 Januari 2023

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

NAMA : Muhammad Aditya Henla

NIM : 21110118130062

Jurusan/Program Studi : Teknik Geodesi

Judul Skripsi :

**KAJIAN PERBANDINGAN MODEL 3 DIMENSI
MENGUNAKAN TEKNOLOGI *TERRESTRIAL LASER SCANNER*
(TLS) LEICA RTC360 DAN LEICA BLK2GO**

(STUDI KASUS: CANDI MENDUT, KABUPATEN MAGELANG)

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 I : Dr. Yudo Prasetyo, ST., MT

Pembimbing II : Muhammad Adnan Yusuf, S.T., M. Eng

Penguji I : Nurhadi Bashit, S.T., M.Eng.

Penguji II : Reyhan Azeriansyah, S.T., M.Eng.

()
()
()
( 26/12-2022)

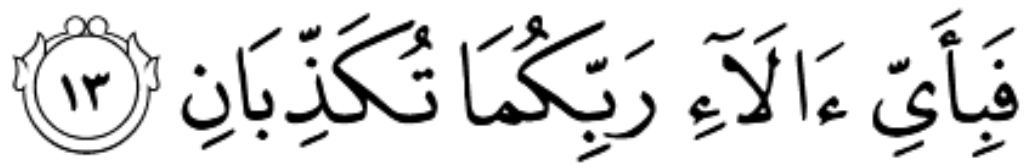
Semarang, 23 Desember 2022
Departemen Teknik Geodesi,
Fakultas Teknik, Universitas
Diponegoro



Dr. Yudo Prasetyo, ST., MT

NIP 197904232006041001

HALAMAN PERSEMBAHAN



Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan?
(QS: Ar-Rahman: 13)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmaanirrahiim, puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan kemudahannya sehingga Peneliti dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini dapat diselesaikan berkat saran, motivasi, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis berterima kasih kepada:

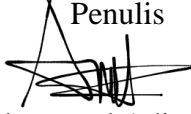
1. Bapak Dr. Yudo Prasetyo, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
2. Bapak Dr. Yudo Prasetyo, S.T., M.T selaku ketua tim penelitian strategis Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
3. Bapak Dr. Yudo Prasetyo, S.T., M.T selaku dosen pembimbing I yang telah memberi bimbingan dan arahan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Bapak Muhammad Adnan Yusuf, S.T., M. Eng. selaku dosen pembimbing II yang telah memberi bimbingan dan arahan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Bapak Nurhadi Bashit, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji I yang telah memberikan saran, masukan, dan bimbingan yang membangun di dalam penelitian ini.
6. Bapak Reyhan Azeriansyah, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji II yang telah memberikan saran, masukan, dan bimbingan yang membangun di dalam penelitian ini.
7. Bapak Moehammad Awaluddin, ST., MT. selaku dosen wali yang telah memberikan arahan pada saat perwalian sampai Tugas Akhir ini selesai.
8. Seluruh tenaga pendidik/Dosen di lingkungan Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.
9. Staff Tata Usaha Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang telah memberikan pelayanan selama proses perkuliahan.
10. Balai Konservasi Borobudur Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah yang telah memberikan izin kepada peneliti untuk melakukan penelitian di

kawasan Candi Mendut dan membantu dalam pemenuhan data yang diperlukan di dalam penelitian ini.

11. Kedua orang tua penulis yaitu Hendri Subekti dan Sri Kumala serta adik-adik saya yang bernama Sri Caya Wulan dan Zahra Varisha Putri yang telah memberikan dukungan moral dan materi serta doa dalam proses perkuliahan. Terimakasih untuk selalu menjadi motivasi peneliti untuk terus berjuang sampai menyelesaikan Tugas Akhir ini.
12. Tim Penelitian Fakultas Teknik yang telah membantu dan melancarkan menyelesaikan tugas akhir ini kepada Bapak Yudo Prasetyo selaku ketua penelitian strategis Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro beserta kepada Ahmad Farhan, Fadhil Faturrahman dan Eva Qatrunnada L selama penelitian berlangsung dimulai dari tahapan persiapan berupa perizinan sampai menyelesaikan akuisisi data di lapangan.
13. Keluarga besar Teknik Geodesi UNDIP beserta teman-teman Teknik Geodesi 2018 yang telah menjadi keluarga besar kedua penulis selama perkuliahan.
14. Teman-teman dan seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyusun Tugas Akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis berharap penelitian ini dapat memberikan manfaat untuk pengetahuan khususnya disiplin ilmu teknik geodesi.

Semarang, 3 Januari 2022

Penulis


Muhammad Aditya Henla

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

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

Nama : MUHAMMAD ADITYA HENLA

NIM : 21110118130062

Jurusan/Program Studi : TEKNIK GEODESI

Fakultas : TEKNIK

Jenis Karya : SKRIPSI

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

KAJIAN PERBANDINGAN MODEL 3 DIMENSI MENGGUNAKAN TEKNOLOGI *TERRESTRIAL LASER SCANNER* (TLS) LEICA RTC360 DAN LEICA BLK2GO (STUDI KASUS: CANDI MENDUT, KABUPATEN MAGELANG)

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih media/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 : 3 Januari 2023

Yang menyatakan



(Muhammad Aditya Henla)

ABSTRAK

Candi Mendut merupakan candi yang bercorak agama Buddha yang didirikan sekitar abad ke 9 oleh dinasti Sailendra semasa dengan Candi Borobudur dan termasuk warisan budaya dunia yang diakui UNESCO pada tahun 1991 bersama dengan Candi Borobudur beserta Candi Pawon. Oleh karena itu, Candi Mendut harus tetap dijaga keberadaannya. Hal ini menjadi alasan peneliti memilih Candi Mendut untuk dijadikan sebagai objek penelitian dikarenakan data rekonstruksi model 3 dimensi Candi Mendut yang belum ada dari tahun semenjak dilakukan pemugaran pertama kali oleh pemerintahan Belanda pada tahun 1898. Lalu dengan ditunjukkannya sejarah Candi Mendut terkena dampak erupsi Gunung Merapi sebanyak lima kali dan terakhir kali pada tahun 2006 terdampak erupsi ringan. Permasalahan lainnya ialah dengan munculnya teknologi dalam memperoleh model 3 dimensi secara efektif dan efisien sehingga perlunya penggunaan teknologi yang cocok di dalam pemodelan 3 dimensi khususnya pada Candi Mendut. Fotogrametri rentang dekat dengan memperoleh data model 3 dimensi berbasis teknologi *terrestrial laser scanner* Leica RTC360 dan Leica BLK2GO menjadi jawaban yang dapat menghasilkan data *point cloud* secara rapat dan baik sehingga pengambilan data dapat dilakukan dengan efektif dan efisien. Hasil yang peneliti peroleh berdasarkan data di lapangan dengan menggunakan Leica RTC360 memperoleh kualitas ketelitian posisi dengan RMSE XYZ sebesar 0,041 meter, lalu ketelitian jarak menggunakan teknologi Leica RTC360 memperoleh RMSE sebesar 0,037 meter. Leica BLK2GO menghasilkan ketelitian posisi RMSE XYZ sebesar 0,089 meter. Dari segi ketelitian jarak, Leica BLK2GO menghasilkan RMSE sebesar 0,043 meter. Berdasarkan akurasi posisi CityGML, pemodelan 3 dimensi Candi Mendut menggunakan teknologi Leica RTC360 dan Leica BLK2GO termasuk ke dalam *level of detail* (LOD) 4 dengan memperoleh akurasi posisi lebih kecil dari 0,2 meter. Uji statistik yang peneliti gunakan yaitu *paired sample t test*, hasil model 3 dimensi dengan menggunakan teknologi Leica RTC360 dan Leica BLK2GO memiliki perbedaan rata-rata sampel jarak antara kedua teknologi. Berdasarkan perbandingan teknologi Leica RTC360 dengan teknologi Leica BLK2GO dari segi ketelitian geometri dan visualisasi model 3 dimensi yang dibentuk, teknologi Leica RTC360 lebih baik dari pada Leica BLK2GO untuk kebutuhan rekonstruksi pemodelan 3 dimensi Candi Mendut, Kabupaten Magelang.

Kata Kunci: Candi Mendut, Fotogrametri Rentang Dekat, Model 3 Dimensi, *Terrestrial Laser Scanner*

ABSTRACT

Mendut Temple is a Buddhist temple that was founded around the 9th century by the Sailendra dynasty during the Borobudur Temple and is included in the world cultural heritage which was recognized by UNESCO in 1991 along with Borobudur Temple and Pawon Temple. Therefore, Mendut Temple must be maintained. This is the reason the researchers chose Mendut Temple to be used as a research object because data on the reconstruction of the 3-dimensional model of Mendut Temple has not been available since the first restoration was carried out by the Dutch government in 1898. Then by showing the history of Mendut Temple being affected by the eruption of Mount Merapi as many as five times and the last time in 2006 was affected by a mild eruption. Another problem is the emergence of technology in obtaining 3-dimensional models effectively and efficiently so it is necessary to use suitable technology in 3-dimensional modeling, especially at Mendut Temple. Close-range photogrammetry by obtaining 3-dimensional model data based on the terrestrial technology of the Leica RTC360 and Leica BLK2GO laser scanners is the answer that can produce point cloud data in a tight and good manner so that data collection can be carried out effectively and efficiently. The results obtained by the researchers based on data in the field using the Leica RTC360 obtained the quality of positional accuracy with an XYZ RMSE of 0.041 meters, then the distance accuracy using the Leica RTC360 technology obtained an RMSE of 0.037 meters. The Leica BLK2GO produces an accuracy of the RMSE XYZ position of 0.089 meters. In terms of distance accuracy, the Leica BLK2GO produces an RMSE of 0.043 meters. Based on CityGML's positional accuracy, the 3-dimensional modeling of Mendut Temple using Leica RTC360 and Leica BLK2GO technology is included in the level of detail (LOD) 4 with a position accuracy of fewer than 0.2 meters. The statistical test that the researcher used was the paired sample t-test. The results of the 3-dimensional model using the Leica RTC360 and Leica BLK2GO technology had a difference in the average sample distance between the two technologies. Based on a comparison of the Leica RTC360 technology with the Leica BLK2GO technology in terms of geometric accuracy and visualization of the 3-dimensional model formed, the Leica RTC360 technology is better than the Leica BLK2GO for the needs of 3-dimensional modeling reconstruction of Mendut Temple, Magelang Regency.

Keywords: Candi Mendut, Close Range Photogrammetry, 3D Model, Terrestrial Laser Scanner

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
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	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
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 Data dan Peralatan Penelitian.....	5
I.6 Metodologi Penelitian	12
I.7 Sistematika Penulisan Penelitian.....	14
I.8 Alur Pikir Penelitian	15
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	16
II.1 Kajian Penelitian Terdahulu	16
II.2 Kajian Objek Penelitian.....	21
II.2.1 Sejarah Candi Mendut.....	21
II.2.2 Kajian Geografis	22

II.2.3	Kajian Struktur	22
II.3	Fotogrametri Rentang Dekat	27
II.3.1	Pengertian.....	27
II.3.2	Konsep Pengukuran Dasar (<i>Structure from Motion</i>)	30
II.3.3	Konsep Model Matematika Fotogrametri Rentang Dekat	35
II.3.4	Aplikasi Terapan Fotogrametri Rentang Dekat	40
II.4	Konsep <i>Terrestrial Laser Scanner</i> (TLS).....	44
II.4.1	Pengertian.....	44
II.4.2	Konsep LASER.....	46
II.4.3	Prinsip Pengukuran <i>Terrestrial Laser Scanner</i>	51
II.4.4	Reposisi <i>Cloud to Cloud</i>	53
II.5	Uji Validitas	54
II.5.1	Ketelitian Model 3 Dimensi	54
II.5.2	<i>Level of Detail</i> (LoD).....	55
II.6	Uji Statistik.....	57
II.6.1	Uji Normalitas	57
II.6.2	Uji <i>Paired Sample T Test</i>	58
II.7	Leica RTC360	59
II.8	Leica BLK2GO	61
II.9	Aplikasi Pengolahan <i>Laser Scanner</i> Leica Geosystems	63
II.9.1	Leica Cyclone REGISTER360	63
II.9.2	Leica Cyclone 3DR.....	65
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	67
III.1	Tahapan Persiapan	67
III.1.1	Survei Lapangan dan Perencanaan.....	67
III.1.2	Persiapan Alat	68

III.2	Tahapan Pengambilan Data	70
III.2.1	Akuisisi Data Titik Kontrol.....	70
III.2.2	Akuisisi Data GCP dan ICP	71
III.2.3	Akuisisi Data Model 3 Dimensi Leica RTC360	74
III.3	Tahapan Pengolahan Data	76
III.3.1	Pengolahan Data Titik Kontrol	76
III.3.2	Pengolahan Data GCP dan ICP.....	83
III.3.3	Pengolahan Data Model 3 Dimensi Dari Leica RTC360.....	91
III.3.4	Pengolahan Data Model 3 Dimensi Dari Leica BLK2GO.....	101
BAB IV	HASIL DAN ANALISIS	111
IV.1	Hasil dan Analisis Pengolahan Titik Kontrol	111
IV.2	Hasil dan Analisis Pengolahan Koordinat GCP dan ICP	113
IV.3	Hasil dan Analisis Model 3 Dimensi Dari Leica RTC360	117
IV.3.1	Uji Ketelitian Geometri Model 3 Dimensi Candi Mendut.....	117
IV.3.2	Analisis Visual Model 3 Dimensi Candi Mendut (Kualitatif)	123
IV.4	Hasil dan Analisis Model 3 Dimensi Dari Leica BLK2GO	126
IV.4.1	Uji Ketelitian Geometri Model 3 Dimensi Candi Mendut.....	126
IV.4.2	Analisis Visual Model 3 Dimensi Candi Mendut (Kualitatif)	132
IV.5	Hasil dan Analisis Perbandingan Model 3 Dimensi Candi Mendut .	135
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	155
V.1	KESIMPULAN	155
V.2	SARAN	156
DAFTAR PUSTAKA		157
LAMPIRAN.....		L-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar I-1 Tampilan Samping Kiri Candi Mendut	4
Gambar I-2 Daerah Penelitian	5
Gambar I-3 Laptop Lenovo	6
Gambar I-4 GNSS HIPER SR.....	7
Gambar I-5 <i>Total Station Reflectorless</i> SOKKIA IM-50.....	7
Gambar I-6 <i>Autolevelling</i> GeoMax ZDL700 Series.....	8
Gambar I-7 Tampilan Leica RTC 360	9
Gambar I-8 Leica BLK2GO.....	10
Gambar I-9 Diagram Alir Penelitian	12
Gambar I-10 Alur Pikir Penelitian	15
Gambar II-1 Tampilan Depan Candi Mendut	21
Gambar II-2 Denah Candi Mendut	23
Gambar II-3 Relief <i>Sumsumara Jataka</i> Candi Mendut	24
Gambar II-4 Relief Brahmana Candi Mendut.....	26
Gambar II-5 Relief Brahmana Duduk Pada Pondok.....	26
Gambar II-6 Relief Candi Mendut (Seorang Buddha).....	27
Gambar II-7 Ilustrasi Kesegarisan, Reseksi Ruang, dan Interseksi Ruang.....	28
Gambar II-8 Teknik Pengambilan Gambar Objek Pada <i>Structure from Motion</i> 30	
Gambar II-9 Proses Fotogrametri Dari Objek ke Gambar	32
Gambar II-10 Proses Fotogrametri Dari Objek ke Model	32
Gambar II-11 Hubungan Antara Ukuran Objek dan Akurasi Pengukuran	33
Gambar II-12 Metode pengukuran Tidak Langsung.....	34
Gambar II-13 Prinsip Pengukuran Model 3 Dimensi	34
Gambar II-14 Sistem Koordinat Model 3 Dimensi.....	35
Gambar II-15 Sistem Koordinat Objek	36
Gambar II-16 Sistem Koordinat Peralatan 3 Dimensi	36
Gambar II-17 Transformasi Kesamaan Spasial	38
Gambar II-18 Proyeksi <i>Isometrik</i> Model 3 Dimensi.....	39
Gambar II-19 Proyeksi Sentral Model 3 Dimensi.....	40
Gambar II-20 Ketinggian Gambar Yang Diperbaiki Dari Teras Bangunan	41

Gambar II-21 Metrik dan Komponen Pada Gereja St Michael.....	43
Gambar II-22 Gambar Metrik Pipa (<i>INVERS</i>).....	44
Gambar II-23 (A) Leica RTC 360 (B) Leica BLK2GO.....	44
Gambar II-24 Prinsip Dasar <i>Absorption</i>	48
Gambar II-25 Prinsip Dasar <i>Emission</i>	48
Gambar II-26 Prinsip Dasar <i>Stimulated Emission</i>	49
Gambar II-27 Label Laser Kelas 1 dan Kelas 1M	50
Gambar II-28 Label Kelas 1 C	50
Gambar II-29 Label Kelas 2 dan 2M	50
Gambar II-30 Label Kelas 3R.....	51
Gambar II-31 Label Kelas 3B	51
Gambar II-32 Label Kelas 4.....	51
Gambar II-33 Mekanisme Pengukuran Jarak <i>Terrestrial Laser Scanner</i>	52
Gambar II-34 Reposisi Dua <i>Scan World</i> Bersebelahan	53
Gambar II-35 Lima Tingkat <i>Level of Detail (LoD)</i> Sesuai Dengan <i>CityGML</i> ...	56
Gambar II-36 Leica RTC360	59
Gambar II-37 <i>Field of View (FoV)</i> Leica RTC360.....	61
Gambar II-38 <i>Handheld</i> Leica BLK2GO	62
Gambar II-39 <i>Field of View</i> Leica BLK2GO.....	63
Gambar II-40 Tampilan Halaman Depan Aplikasi	63
Gambar II-41 Tampilan Halaman Depan Aplikasi Leica Cyclone 3DR	65
Gambar III-1 Pelaksanaan Perizinan Kepada Balai Konservasi Borobudur	67
Gambar III-2 Survei Pendahuluan lapangan.....	67
Gambar III-3 Pemasangan Patok Kayu	70
Gambar III-4 Perekaman Data GNSS.....	71
Gambar III-5 Pendirian Alat <i>Total Station Reflectorless</i>	72
Gambar III-6 Pengukuran Poligon Candi Mendut.....	73
Gambar III-7 Pengukuran Beda Tinggi	73
Gambar III-8 Rambu Ukur <i>Barcode Waterpass Digital</i>	74
Gambar III-9 Pendirian Leica RTC360	74
Gambar III-10 Leica RTC360 dan Surveyor	76
Gambar III-11 Tampilan <i>Topcon Tools</i>	76

Gambar III-12	Tampilan <i>License Topcon Tools</i>	76
Gambar III-13	Tampilan <i>Startup Topcon Tools</i>	77
Gambar III-14	Tampilan <i>Creat New Job</i>	77
Gambar III-15	Tampilan <i>Job Configuration</i>	77
Gambar III-16	Tampilan <i>Save Configuration</i>	78
Gambar III-17	Tampilan Akhir <i>Creat New Job</i>	78
Gambar III-18	Tampilan Halaman <i>Project</i>	78
Gambar III-19	Tampilan Input Data <i>CORS</i>	79
Gambar III-20	Tampilan Input BM1 dan BM 2	79
Gambar III-21	Tampilan Pengubahan Data <i>CORS</i>	79
Gambar III-22	Tampilan Pengubahan Data Kontrol	79
Gambar III-23	Jendela Pemilihan Tipe Antena <i>CORS</i>	80
Gambar III-24	Tampilan Pemilihan <i>Antenna Type Hiper SR</i>	80
Gambar III-25	Tampilan Pengubahan Nilai Tinggi Alat GNSS.....	80
Gambar III-26	Tampilan Pengubahan <i>Antenna Height</i>	81
Gambar III-27	Tampilan Memasukkan Data Navigasi.....	81
Gambar III-28	Tampilan Memasukkan Data sp3	81
Gambar III-29	Tampilan <i>GPS+ Postprocessing</i>	81
Gambar III-30	Tampilan <i>Adjustment Pada Process</i>	82
Gambar III-31	Tampilan Hasil Proses <i>Adjustment</i>	82
Gambar III-32	Tampilan <i>Processing Compute Coordinates</i>	82
Gambar III-33	Tampilan Pemilihan <i>Report Points</i>	82
Gambar III-34	Tampilan Hasil <i>Report Points</i>	83
Gambar III-35	Tampilan Halaman Depan <i>Topcon Link</i>	83
Gambar III-36	<i>Toolbar</i> Pemilihan <i>Open File</i>	83
Gambar III-37	Data CANDIM Berformat <i>.raw</i>	84
Gambar III-38	Pengubahan <i>BOTH</i> Pada BM1 dan BM2	84
Gambar III-39	Tampilan <i>Control BOTH</i>	90
Gambar III-40	Tampilan <i>Compute Coordinates</i>	90
Gambar III-41	Hasil Koordinat GCP dan ICP.....	91
Gambar III-42	Hasil Visualisasi Koordinat Poligon, GCP, dan ICP.....	91
Gambar III-43	Tampilan Depan Cyclone Register 360.....	91

Gambar III-44 Tampilan <i>Import Data Project. RTC360</i>	92
Gambar III-45 Tampilan <i>Bundle Error</i> Pada Hasil <i>Optimize Bundle</i>	92
Gambar III-46 Proses Awal Reposisi <i>Cloud to Cloud</i>	92
Gambar III-47 Tampilan <i>Top View Cloud to Cloud Registration</i>	93
Gambar III-48 Tampilan <i>Side View Cloud to Cloud Registration</i>	93
Gambar III-49 <i>Join and Optimize</i> Pada <i>Visual Alignment</i>	93
Gambar III-50 <i>Ground Bundle</i> Candi Mendut.....	93
Gambar III-51 Lantai 2 <i>Bundle</i> Candi Mendut.....	94
Gambar III-52 Tampilan <i>Bundle Error</i> Candi Mendut.....	94
Gambar III-53 Proses <i>Georeferencing</i> Pada Dinding Candi Mendut	94
Gambar III-54 Input Data GCP Pada Cyclone REGISTER360	95
Gambar III-55 Tampilan <i>Import as Control</i> pada REGISTER360	95
Gambar III-56 Tampilan <i>Import Point</i> pada Cyclone REGISTER360	95
Gambar III-57 Tampilan <i>Apply Control</i> Pada REGISTER360	96
Gambar III-58 Tampilan <i>Apply Control</i> Telah Selesai Dilakukan	96
Gambar III-59 Tampilan <i>Error Bundle</i> Reposisi Candi Mendut.....	97
Gambar III-60 Tampilan <i>Limit Box</i> Pada <i>Point Cloud</i> Candi Mendut	97
Gambar III-61 Tampilan <i>Publish</i> Pada <i>Report</i>	98
Gambar III-62 Tampilan <i>Import Point Cloud</i> Pada Cyclone 3DR	98
Gambar III-63 Tampilan <i>Point Cloud</i> Candi Mendut.....	98
Gambar III-64 Proses <i>Clean Point Cloud</i>	99
Gambar III-65 Klasifikasi Bangunan Candi Mendut.....	99
Gambar III-66 Klasifikasi <i>Point Cloud</i> Bangunan Candi Mendut	99
Gambar III-67 Klasifikasi Permukaan Dasar Candi Mendut.....	100
Gambar III-68 Tampilan <i>Meshing</i> Candi Mendut	100
Gambar III-69 Tampilan <i>Texturing</i> Candi Mendut	100
Gambar III-70 Tampilan <i>Import Raw Data</i> BLK2GO Pada REGISTER360 ..	101
Gambar III-71 <i>Raw Data</i> Mendut.b2g Leica BLK2GO	101
Gambar III-72 Pengaturan dan <i>Import</i> Pada REGISTER360.....	101
Gambar III-73 Tampilan Hasil <i>Import</i> BLK2GO	102
Gambar III-74 Tampilan <i>Setup Cloud</i> BLK2GO Candi Mendut.....	102
Gambar III-75 Tampilan <i>Add Target</i> pada REGISTER360	102

Gambar III-76	Tampilan memasukkan GCP. txt Ke Dalam REGISTER360 ..	103
Gambar III-77	Tampilan <i>Import</i> Pada REGISTER360	103
Gambar III-78	Tampilan Target Pada <i>Point Cloud</i> Candi Mendut	103
Gambar III-79	Tampilan <i>Limit Box</i> Pada Candi Mendut.....	104
Gambar III-80	Tampilan <i>Noise Point Cloud</i> Pada Candi Mendut.....	105
Gambar III-81	Tampilan Depan <i>Point Cloud</i> Setelah Proses <i>Cleaning</i>	105
Gambar III-82	Tampilan Kanan <i>Point Cloud</i> Setelah proses <i>Cleaning</i>	105
Gambar III-83	<i>Publish Project</i> BLK2GO	105
Gambar III-84	Tampilan <i>Smooth Cleaning Point Cloud</i>	106
Gambar III-85	Tampilan Menu <i>Manual Classification</i>	106
Gambar III-86	Tampilan <i>Point Cloud</i> Sesudah Terklasifikasi	107
Gambar III-87	Tampilan Pembentukan DTM (<i>Mesh Ground</i>).....	107
Gambar III-88	Tampilan <i>Refine Mesh</i> Candi Mendut <i>Inside</i>	107
Gambar III-89	Tampilan <i>3D Mesh</i> Candi Mendut <i>Outside</i>	108
Gambar III-90	Tampilan <i>Take Colour from Cloud</i>	108
Gambar III-91	Tampilan <i>Texture</i> Bagian Luar Candi Mendut.....	109
Gambar III-92	Tampilan <i>Ground Mesh</i> (DTM)	109
Gambar III-93	Tampilan Bagian Dalam Candi Mendut.....	109
Gambar III-94	Tampilan <i>Fill Hole</i> Pada Dinding Candi Mendut.....	110
Gambar III-95	Tampilan Candi Mendut (Dasar, Dalam, dan Luar)	110
Gambar III-96	<i>Mesh</i> dan <i>Texture Group</i> BLK2GO Candi Mendut	110
Gambar IV-1	Visualisasi Poligon <i>Bowditch</i>	115
Gambar IV-2	Visualisasi Poligon <i>Least Square</i>	115
Gambar IV-3	Grafik Beda Tinggi <i>Bowditch</i>	115
Gambar IV-4	Grafik Beda Tinggi <i>Least Square</i>	116
Gambar IV-5	Kerangka Poligon Candi Mendut.....	116
Gambar IV-6	Grafik <i>Error</i> GCP (Leica RTC360).....	118
Gambar IV-7	Grafik <i>Error</i> Validasi Jarak Leica RTC360	122
Gambar IV-8	Hasil Uji Normalitas Lilliefors (Kolmogorov smirnov)	123
Gambar IV-9	Hasil <i>Smooth Point Cloud</i> Candi Mendut (Leica RTC360)	124
Gambar IV-10	Hasil Model 3 Dimensi Candi Mendut (Tampak Depan).....	124
Gambar IV-11	Hasil Model 3 Dimensi Candi Mendut (Tampak Belakang)	125

Gambar IV-12 Bagian 3D Model Bangunan Luar Candi Mendut	125
Gambar IV-13 Hasil Model 3D Permukaan Dasar (<i>Ground</i>) Candi Mendut ...	126
Gambar IV-14 Grafik <i>Error</i> GCP (Leica BLK2GO).....	127
Gambar IV-15 Grafik <i>Error</i> Validasi Jarak Leica BLK2GO.....	130
Gambar IV-16 Hasil Uji Normalitas Lilliefors (Kolmogorov Smirnov)	131
Gambar IV-17 Hasil <i>Smooth Point Cloud</i> Candi Mendut (Leica BLK2GO) ...	132
Gambar IV-18 Hasil Model 3 Dimensi Candi Mendut (Tampak Depan).....	133
Gambar IV-19 Hasil Permukaan Bangunan Candi Mendut.....	134
Gambar IV-20 Hasil Permukaan Candi Mendut	134
Gambar IV-21 Grafik <i>Error</i> Posisi X	139
Gambar IV-22 Grafik <i>Error</i> Posisi Y	139
Gambar IV-23 Grafik <i>Error</i> Posisi XY.....	140
Gambar IV-24 Grafik <i>Error</i> Posisi Z.....	141
Gambar IV-25 Grafik <i>Error</i> Posisi XYZ	142
Gambar IV-26 Grafik <i>Error</i> Ketelitian Jarak.....	144
Gambar IV-27 Hasil Model 3 Dimensi Candi Mendut (Leica RTC360).....	145
Gambar IV-28 Hasil Model 3 Dimensi Candi Mendut (Leica BLK2GO).....	145
Gambar IV-29 Raster Histogram RGB Foto Lapangan Candi Mendut	146
Gambar IV-30 Raster Histogram RGB Model 3 Dimensi (Leica RTC360).....	147
Gambar IV-31 Raster Histogram RGB Model 3 Dimensi (Leica BLK2GO)...	147
Gambar IV-32 <i>Surface Levelness</i> Model 3D (Leica RTC360)	152
Gambar IV-33 <i>Surface Levelness</i> Model 3D (Leica BLK2GO)	152
Gambar IV-34 Hasil <i>Uji Paired Sample T Test</i>	153

DAFTAR TABEL

Tabel I-1 Data Penelitian.....	5
Tabel I-2 Spesifikasi TOPCON HIPER SR	7
Tabel I-3 Spesifikasi <i>Total Station Reflectorless</i> SOKKIA IM-50.....	8
Tabel I-4 Spesifikasi GeoMax ZDL700.....	9
Tabel I-5 Spesifikasi Leica RTC 360.....	9
Tabel I-6 Spesifikasi Leica BLK2GO.....	11
Tabel II-1 Tabel Kajian Penelitian Terdahulu	16
Tabel II-2 LoD 0-4 dari CityGML Beserta Persyaratan Akurasinya.....	56
Tabel II-3 Tabel Nilai Kritis Lilliefors (Kolmogorov Smirnov).....	58
Tabel III-1 Hasil Uji Kolimasi (<i>Total Station Reflectorless</i>).....	68
Tabel III-2 Hasil Uji Indeks Vertikal (<i>Total Station Reflectorless</i>)	68
Tabel III-3 Hasil Uji Kesalahan Jarak (<i>Total Station Reflectorless</i>)	69
Tabel III-4 Kesalahan Garis Bidik (<i>Waterpass Digital</i>)	69
Tabel III-5 Hasil Koordinat Candi Mendut	84
Tabel III-6 Data Sudut Pengukuran Poligon.....	85
Tabel III-7 Data Koordinat Patok	85
Tabel III-8 Data Koordinat BM	85
Tabel III-9 Data Jarak Lapangan	85
Tabel III-10 Sudut Pendekatan	85
Tabel III-11 Jarak Pendekatan	86
Tabel III-12 Hasil Matriks A (15 x 12)	86
Tabel III-13 Hasil Matriks Bobot (P) (15 x 12).....	86
Tabel III-14 Hasil Matriks L.....	87
Tabel III-15 Hasil Hitungan dX.....	87
Tabel III-16 Hasil Matriks X	87
Tabel III-17 Hasil Matriks V (15 x 1)	87
Tabel III-18 Hasil Matriks La (15 x 1)	88
Tabel III-19 Topo 2 Hitungan <i>Waterpass</i>	88
Tabel III-20 Matriks A <i>Least Square</i> Beda Tinggi.....	89
Tabel III-21 Matriks P <i>Least Square</i> Beda Tinggi	89

Tabel III-22 Matriks <i>L Least Square</i> Beda Tinggi	89
Tabel III-23 Matriks <i>X Least Square</i> Beda Tinggi.....	89
Tabel III-24 Matriks <i>V Least Square</i> Beda Tinggi.....	89
Tabel III-25 Hasil Pengolahan Beda Tinggi <i>Least Square</i>	90
Tabel III-26 <i>Mean Error</i> GCP Leica RTC360	97
Tabel III-27 <i>Mean Error</i> GCP Leica BLK2GO	104
Tabel IV-1 Hasil Pengecekan Perekaman Data Satelit (TEQC).....	111
Tabel IV-2 Standar Deviasi Titik Kontrol	112
Tabel IV-3 Hasil Proses <i>GPS + Processing</i> Jaring Titik Kontrol	112
Tabel IV-4 Hasil <i>Adjustment</i> Jaring Titik Kontrol.....	112
Tabel IV-5 Hasil Pengolahan Poligon (<i>Bowditch</i> dan <i>Least Square</i>).....	113
Tabel IV-6 Perbandingan Informasi (<i>Bowditch</i> dan <i>Least Square</i>)	114
Tabel IV-7 Koordinat <i>Benchmark</i> (BM) dan Patok	116
Tabel IV-8 Koordinat <i>Ground Control Point</i> (GCP).....	117
Tabel IV-9 Koordinat <i>Independent Check Point</i> (ICP).....	117
Tabel IV-10 RMSE <i>Ground Control Point</i> (GCP) Candi Mendut	118
Tabel IV-11 Kualitas Ketelitian Posisi Model 3 Dimensi Leica RTC360.....	120
Tabel IV-12 Validasi Jarak Leica RTC360.....	121
Tabel IV-13 <i>Error Ground Control Point</i> (GCP) Leica BLK2GO	127
Tabel IV-14 Kualitas Ketelitian Posisi Model 3 Dimensi Leica BLK2GO	129
Tabel IV-15 Validasi Jarak Leica BLK2GO.....	130
Tabel IV-16 Rangkuman <i>Bundle</i> Leica RTC360 dan Leica BLK2GO	135
Tabel IV-17 <i>Error</i> Posisi Leica RTC360.....	137
Tabel IV-18 <i>Error</i> Posisi Leica BLK2GO	138
Tabel IV-19 Perbandingan Kualitas Ketelitian Posisi (RMSE)	142
Tabel IV-20 Perbandingan <i>Error</i> Ketelitian Jarak.....	143
Tabel IV-21 Perbandingan Ketelitian Jarak Atau Validasi Jarak (RMSE).....	145
Tabel IV-22 Perbandingan Relief Candi Mendut	148

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Lembar Asistensi.....	L-1
LAMPIRAN 2. Surat Izin Alat, Data, dan Lokasi	L-2
LAMPIRAN 3. Data Pengukuran	L-3
LAMPIRAN 4. Perhitungan <i>Least Square</i>	L-4
LAMPIRAN 5. Data Hasil Pengolahan	L-5
LAMPIRAN 6. Model 3 Dimensi Candi Mendut.....	L-6
LAMPIRAN 7. Dokumentasi Pengukuran Di Lapangan.....	L-7

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki banyak situs sejarah, salah satunya adalah candi. Situs Candi di Indonesia terbilang banyak dikarenakan Indonesia sebelum masa kemerdekaan, masih adanya sistem kerajaan khususnya kerajaan Hindu dan Budha. Seiring dengan berkembangnya zaman secara pesat, candi bukan hanya sebagai tempat peribadatan umat Hindu dan Budha tapi juga dijadikan masyarakat Indonesia sebagai objek wisata nan bersejarah. Candi Mendut termasuk warisan budaya dunia yang diakui UNESCO pada tahun 1991 bersama dengan Candi Borobudur beserta Candi Pawon. Candi Mendut merupakan candi peninggalan agama Buddha yang terletak di Kelurahan Mendut, Kecamatan Mungkid, Kabupaten Magelang. Pemugaran Candi Mendut pertama kali dilakukan oleh pemerintahan Belanda pada tahun 1898, dan Candi Mendut sejarah terkena dampak erupsi Gunung Merapi mulai pada tahun 1006 (dugaan), 1786, 1822, 1872, 1930 dan terakhir tercatat pada tahun 2006 terdampak erupsi ringan (Ekarini, 2019). Selain itu, permasalahan lainnya dengan munculnya teknologi baru berbasis *terrestrial laser scanner* di dalam proses pembentukan model 3 dimensi khususnya *heritage building*, maka dari itu dibutuhkan alat yang cocok serta dapat membentuk model 3 dimensi secara efektif dan efisien.

Berdasarkan permasalahan-permasalahan yang timbul pada Candi Mendut dan untuk mencari solusi yang terbaik, peneliti merujuk kepada penelitian yang dilakukan oleh Massimiliano Pepe dkk pada tahun 2021 dengan judul penelitian "*Scan to BIM for the digital management and representation in 3D GIS environment of cultural heritage site*" melakukan penelitian pemindaian BIM untuk manajemen dan representasi digital dalam 3D GIS lingkungan situs warisan budaya. Lokasi penelitian ini berupa gereja batu yang terletak di distrik keramik terkenal Grottaglie (Italia). Penelitian ini menggunakan metode *close range photogrammetry* dan *Terrestrial Laser Scanner*. Alat yang digunakan di dalam penelitian ini yaitu NIKON D3300 dan HDS 3000 *of Leica Geosystems*. Tujuan dari penelitian tersebut memperoleh hasil tiga dimensi BIM yang digunakan untuk

warisan budaya berbasis digital. Hasil yang diperoleh di dalam penelitian ini berupa *Building Information Modelling* (BIM).

Penelitian yang peneliti lakukan yaitu memodelkan tiga dimensi Candi Mendut dengan menggunakan teknologi *laser scanner* pada Leica RTC360 dan Leica BLK2GO dengan membandingkan model 3 dimensi dari masing-masing teknologi sehingga dapat diketahui teknologi mana yang terbaik dan efisien untuk menunjang data model 3 dimensi Candi Mendut rekonstruksi Candi Mendut dimasa yang akan datang, mengingat sejarah Candi Mendut terkena dampak dari erupsi Gunung Merapi dan termasuk warisan budaya dunia yang harus dilindungi dan telah diakui UNESCO. Hasil Model 3 Dimensi yang diperoleh dari penelitian ini dengan menggunakan Leica RTC360 dan Leica BLK2GO, dengan menganalisis ketelitian geometri dari segi posisi menggunakan *independent check point*, validasi jarak hasil model 3 dimensi dengan pengukuran *total station* dengan bantuan titik target yang terpasang pada dinding Candi Mendut, tingkat kedetailan relief dan bangunan model 3 dimensi Candi Mendut yang diperoleh dari masing-masing pengukuran dan pengolahan menggunakan Leica RTC360 dan Leica BLK2GO, lalu uji statistik *paired sample t test* yang berfungsi untuk mengetahui perbedaan rata-rata Leica RTC360 dengan Leica BLK2GO terhadap pengukuran sampel jarak dari titik target dengan menggunakan *total station*.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana analisis hasil pemodelan 3 Dimensi dari Candi Mendut menggunakan *terrestrial laser scanner* Leica RTC360 berdasarkan ketelitian geometri model 3 dimensi beserta analisis visual secara kualitatif hasil model 3 dimensi Candi Mendut?
2. Bagaimana analisis hasil pemodelan 3 Dimensi dari Candi Mendut menggunakan *handheld* Leica BLK2GO berdasarkan ketelitian geometri model 3 dimensi beserta analisis visual secara kualitatif hasil model 3 dimensi Candi Mendut?
3. Bagaimana analisis perbandingan hasil model 3 Dimensi Candi Mendut dari teknologi Leica RTC360 dan Leica BLK2GO?

I.3 Tujuan Dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari pelaksanaan penelitian ini sebagai berikut:

1. Memperoleh analisis hasil pemodelan 3 Dimensi Candi Mendut, Kabupaten Magelang menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* Leica RTC360.
2. Memperoleh analisis hasil pemodelan 3 Dimensi Candi Mendut, Kabupaten Magelang menggunakan Leica BLK2GO.
3. Memperoleh hasil analisis perbandingan model 3 Dimensi dari *terrestrial laser scanner* Leica RTC360, dan Leica BLK2GO Candi Mendut, Kabupaten Magelang.

Manfaat dari pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bidang Rekayasa

Hasil penelitian ini memperoleh perbandingan hasil pemodelan 3 dimensi *terrestrial laser scanner* Leica RTC360 dengan Leica BLK2GO sehingga mengetahui teknologi mana yang cocok untuk menunjang data rekonstruksi Candi Mendut yang berasal dari ke dua teknologi tersebut.

2. Bidang Keilmuan

Penelitian ini bisa menyampaikan pemahaman yang lebih perihal pemodelan tiga dimensi menggunakan metode *close range photogrammetry* dan *terrestrial laser scanner* serta menyampaikan isu tentang uji ketelitian geometri dan strata LOD yang dihasilkan.

I.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi oleh hal-hal berikut:

1. Tahapan pengolahan Leica RTC360 dan Leica BLK2GO menggunakan aplikasi REGISTER360 untuk reposisi *point cloud* dan Leica Cyclone 3DR digunakan sebagai pembentukan dan analisa model 3 dimensi.
2. Analisis ketelitian geometri model 3 dimensi dengan menggunakan alat Leica RTC360 dan Leica BLK2GO dengan memperhatikan *level of detail* dan analisis visual secara kualitatif dari pemodelan 3 dimensi yang dihasilkan dari alat Leica RTC360 dan Leica BLK2GO.
3. Analisis visual hasil model 3 dimensi dengan parameter tujuh kunci interpretasi citra.

4. Penentuan validasi jarak di lapangan dari data hasil pengolahan 3 dimensi Leica RTC360 dan Leica BLK2GO dengan membandingkan pengukuran koordinat yang dianggap benar menggunakan *total station*.
5. Uji statistik yang digunakan menggunakan uji normalitas Lilliefors (Kolmogorov Smirnov) dan uji *paired sample T Test*.

I.5 Ruang Lingkup

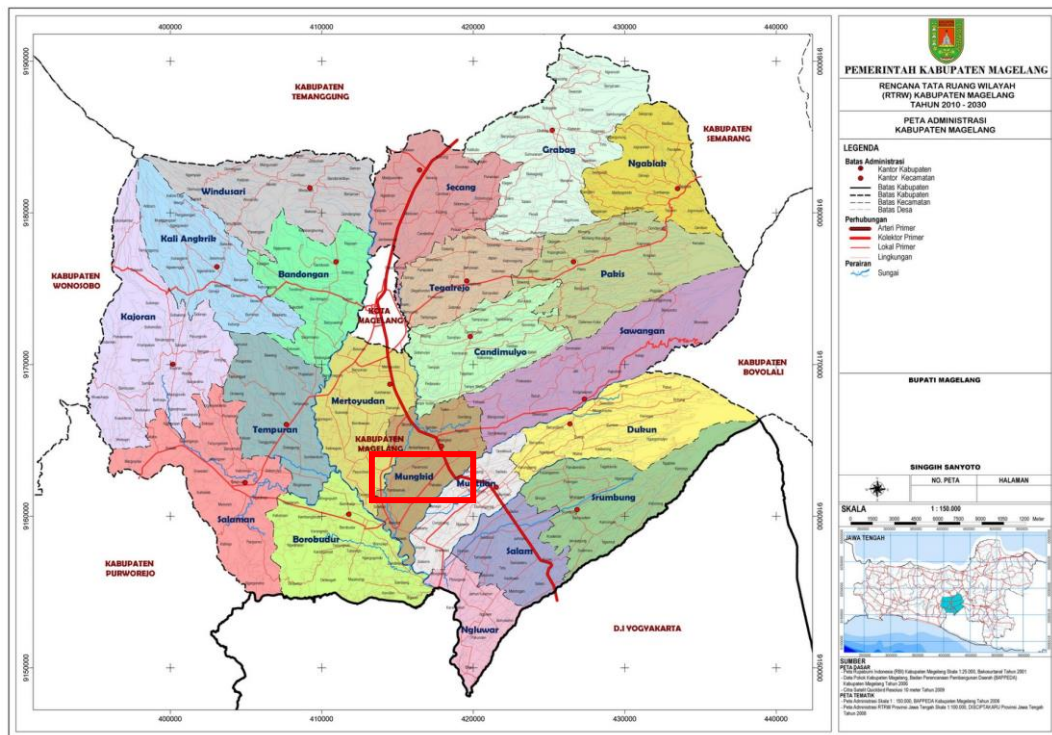
I.5.1 Wilayah Penelitian

Daerah penelitian berada pada tempat Candi Mendut. Candi ini terletak pada Kelurahan Mendut, Kecamatan Mungkid, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah yang dapat ditunjukkan pada **Gambar I-2**. Secara geografis Candi Mendut terletak di $7^{\circ}25'28,60''$ Lintang Selatan serta $110^{\circ}10'3,50''$ Bujur Timur. Rute menuju Candi Mendut ditempuh paling cepat melewati Kecamatan Mungkid, serta banyak sekali dijumpai penunjuk jalan ke arah candi. Akses menuju Candi Mendut, bisa menggunakan kendaraan roda empat ataupun kendaraan roda dua dikarenakan jalan mudah diakses kendaraan.

Candi ini terletak pada wilayah pemukiman penduduk semi urban, karena wilayah bercampur dengan pepohonan, perumahan, dan adanya lahan pertanian. Sisi Selatan candi ini terdapat pepohonan dan akses jalan penduduk. Akses menuju candi berada di sekeliling candi, jadi sangat mudah untuk dijangkau. Pada sebelah utara candi dikelilingi oleh taman, jalan dan perumahan penduduk. Tampilan candi di tunjukan pada **Gambar I-1**.



Gambar I-1 Tampilan Samping Kiri Candi Mendut



Gambar I-2 Daerah Penelitian
(Pemerintah Kabupaten Magelang, 2011)

I.5.2 Data dan Peralatan Penelitian

1. Data Penelitian

Data yang digunakan di dalam penelitian ini dapat ditunjukkan pada **Tabel I-1**.

Tabel I-1 Data Penelitian

No.	Data	Sumber	Tahun	Keterangan
1.	Data <i>Terrestrial Laser Scanner</i> (TLS) Leica RTC360	Pengukuran Langsung	2022	Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat Leica RTC30
2.	Raw data Leica BLK2GO	Balai Konservasi Borobudur	2022	Data ini didapatkan dari pengukuran yang dilakukan oleh Balai Konservasi Borobudur dengan Leica Geosystems Indonesia pada Agustus 2022.
3.	Data Pengukuran GNSS	Pengukuran Langsung	2022	Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat GNSS Hiper SR.
4.	Data Pengukuran <i>Total Station</i> (GCP dan ICP)	Pengukuran Langsung	2022	Pengukuran dilakukan dengan menggunakan <i>total station reflectorless</i> SOKKIA IM-50

Tabel I-1 Data Penelitian (Lanjutan)

No.	Data	Sumber	Tahun	Keterangan
5.	Data Pengukuran Beda Tinggi	Pengukuran Langsung	2022	Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat <i>autolevelling</i> Geomax.
6.	Koordinat CORS cmgl (Magelang)	Badan Informasi Geospasial	2022	Data ini merupakan data penunjang untuk pengolahan GNSS berupa data koordinat.

2. Peralatan

A. Perangkat keras

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



Gambar I-3 Laptop Lenovo

a) Laptop

Tipe PC : LENOVO
Sistem Operasi : Windows 11 Home Single Language 64-bit
Tipe Sistem : 64-bit *Operating System*, x64-based
processor
Tipe Processor : Intel® Core™ i7-11800H @ 2.30GHz
dengan processor NVIDIA GEFORCE RTX 3070
Kapasitas RAM : 16.00Gb

b) GNSS TOPCON HIPER SR

GNSS TOPCON HIPER SR merupakan peralatan alat survei yang dikeluarkan oleh TOPCON berfungsi sebagai pengukuran titik kontrol di dalam penelitian ini yang dapat ditunjukkan pada **Gambar I-4**.



Gambar I-4 GNSS HIPER SR

Spesifikasi GNSS HIPER SR dapat ditunjukkan pada **Tabel I-2**.

Tabel I-2 Spesifikasi TOPCON HIPER SR

(TOPCON, 2012)

Spesifikasi	Keterangan
GNSS Tracking	
Jumlah Saluran	226-Channel Vanguard Technology dengan Universal Tracking Channels
Signals Tracked	GPS, GLONASS, SBAS, QZSS
Tipe Antena	Fence Antenna
Akurasi	
DGPS	H: 0,4 m, V: 0,6 m
SBAS	H: 1,0 m, V: 1,5 m
Akurasi	Statis/Cepat Statis: H: 3 mm + 0,4 ppm V: 5 mm + 0,6 ppm Statis Presisi: H: 3 mm + 0,1 ppm V: 3,5 mm + 0,4 ppm RTK (L1+L2): T: 10 mm + 0,8 ppm V: 15 mm + 1 ppm

c) *Total Station Reflectorless* SOKKIA IM-50

Total Station Reflectorless SOKKIA IM-50 berfungsi sebagai pengukuran poligon beserta pengukuran *ground control point* dan *independent check point*. *Total Station Reflectorless* dapat ditunjukkan pada **Gambar I-5**.



Gambar I-5 *Total Station Reflectorless* SOKKIA IM-50

Spesifikasi *Total Station Reflectorless* SOKKIA IM-50 dapat ditunjukkan pada **Tabel I-3**.

Tabel I-3 Spesifikasi *Total Station Reflectorless* SOKKIA IM-50
(SOKKIA IM-50, 2019)

Spesifikasi	Keterangan
Pengukuran sudut	
Tampilan Minimum (dapat dipilih)	1"/5" (0.0002 / 0.001gon, 0.005 / 0.02 mil)
Akurasi (ISO 17123-3:2001)	5"
Pengukuran jarak	
Keluaran Laser	Mode tanpa reflektor: Kelas 3R / Mode prisma/lembar: Kelas 1
Rentang pengukuran	Reflectorless: 0,3 to 500 m Prisma: 1,3 meter sampai 4 meter
Akurasi Jarak <i>Reflectorless</i> (ISO 17123-4:2001)	(2 + 2ppm x D) mm
Akurasi Jarak Prisma (ISO 17123-4:2001)	(1.5 + 2ppm x D) mm

d) *Autolevelling* GeoMax ZDL700 Series
Autolevelling GeoMax ZDL700 Series merupakan peralatan alat survei yang berfungsi untuk melakukan pengukuran beda tinggi pada penelitian ini yang dapat ditunjukkan pada **Gambar I-6**.



Gambar I-6 *Autolevelling* GeoMax ZDL700 Series

Spesifikasi *waterpass* GeoMax ZDL700 Series dapat ditunjukkan pada **Tabel I-4**.

Tabel I-4 Spesifikasi GeoMax ZDL700
(GeoMax, 2018)

Spesifikasi	Keterangan
Akurasi Ketinggian	$\pm 0,7\text{mm/km double run}$
Akurasi Jarak	D < 10m, 10mm D \geq 10m, 0,001 x D
Jarak maksimal	105 meter
Kecepatan pengukuran	< 3 seconds
Memori Internal	2000 kali pengukuran

e) *Terrestrial Laser Scanner* (Leica RTC 360)



Gambar I-7 Tampilan Leica RTC 360

Berdasarkan spesifikasi *terrestrial laser scanner* LEICA RTC360 (Leica Geosystem, 2018) dapat dilihat pada **Tabel I-5**.

Tabel I-5 Spesifikasi Leica RTC 360

Spesifikasi	Keterangan
Umum	Pemindai laser 3D berkecepatan tinggi dengan sistem pencitraan HDR terintegrasi dan Sistem Inersia Visual (VIS) untuk pendaftaran waktu nyata.
Kinerja	- <i>Data Acquisition</i> : <2 menit untuk pemindaian kubah penuh dan gambar HDR bulat pada 6mm @ 10 m - <i>Real time registration</i> : Penyelarasan <i>point cloud</i> otomatis berdasarkan pelacakan pemindai waktu nyata pergerakan antara pengaturan berdasarkan Sistem Inersia Visual (VIS) oleh <i>video enhanced unit</i> pengukuran inersia

Tabel I-5 Spesifikasi Leica RTC 360 (Lanjutan)

Spesifikasi	Keterangan
Pemindaian	<p><i>-Distance measurement:</i> Kecepatan tinggi, waktu penerbangan dinamis tinggi ditingkatkan dengan Digitalisasi Bentuk Gelombang (WFD) teknologi</p> <p><i>-Laser class:</i> 1 (sesuai dengan IEC 60825-1:2014), panjang gelombang 1550 nm (tidak terlihat)</p> <p><i>- Field of view:</i> 360° (horizontal) / 300 ° (vertikal)</p> <p><i>- Jarak:</i> Minimal 0,5 meter - 130 m</p> <p><i>- Akurasi:</i> Akurasi sudut 18”</p> <p>Akurasi rentang 1,0 mm + 10 ppm</p> <p>Akurasi titik 3D</p> <p>1,9 mm = 10 m</p> <p>2,9 mm = 20 m</p> <p>5,3 mm = 40 m</p> <p><i>- Frekuensi pengulangan pulsa maksimum:</i> 2 MHz</p>
Pencitraan	<p>Tangkapan sistem 3 kamera 36 MP</p> <p>Data mentah 432 MPx untuk kalibrasi 360° x 300 ° gambar <i>spherical</i></p>
Sensor Navigasi	<p><i>-VIS:</i> Sistem pengukuran inersia video yang disempurnakan untuk melacak pergerakan posisi pemindai relatif terhadap pengaturan sebelumnya secara <i>real time</i>.</p> <p><i>-Tilt:</i> Berbasis IMU, Akurasi: 3' untuk kemiringan apa pun</p> <p><i>-Additional Sensors:</i> Altimeter, <i>Compass</i>, GNSS</p>
Kekuatan Baterai	<p>2 x Leica GEB361 internal, dapat diisi ulang Baterai Li-Ion. Durasi: Biasanya hingga 4 jam Berat: 340g per baterai</p>

f) Leica BLK2GO



Gambar I-8 Leica BLK2GO

(Leica Geosystems, 2021)

Spesifikasi Leica BLK2GO dapat dilihat pada **Tabel I-6**.

Tabel I-6 Spesifikasi Leica BLK2GO

(Leica Geosystems, 2021)

Spesifikasi	Keterangan
Kinerja Sistem Laser	Sistem pemindaian adalah unit waktu berkecepatan tinggi, ditingkatkan dengan Teknologi <i>Waveform Digitizing</i> (WFD) dengan kecepatan pemindaian maksimum 420.000 poin/detik.
LiDAR dan Pencitraan	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Laser scanner</i>: 1 (sesuai dengan IEC 60825-1) - Panjang gelombang: 830 nm - <i>Field of view</i>: 360° (horizontal) / 300° (vertikal) - Radius: minimal. 0,5 - hingga 25 meter - Tingkat pengukuran titik: 420,000 poin/detik - Kamera Resolusi Tinggi: 12 Mega piksel, 90° x 120°, <i>rolling shutter</i> - Frekuensi pengulangan pulsa: 1,64 MHz
Kinerja Sistem (Berbasis SLAM)	<ul style="list-style-type: none"> - Akurasi Relatif: 5-15 mm - Akurasi posisi mutlak dalam ruangan: 20 mm
<i>Environmental</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Kekokohan: Dirancang untuk penggunaan <i>indoor</i> dan <i>outdoor</i> - Suhu Operasional: +5 to +40 °C - Perlindungan debu dan kelembapan: IP54 (IEC 60529)
Pengolahan Data	- Perangkat Lunak: Leica Cyclone REGISTER 360 dan Cyclone REGISTER 360 (<i>BLK Edition</i>)

B. Perangkat Lunak

a) Microsoft Office 2016

b) Leica Cyclone REGISTER 360

Leica Cyclone berfungsi sebagai pengolahan reposisi *cloud to cloud* menggunakan teknologi Leica RTC360 dan Leica BLK2GO

c) Leica Cyclone 3DR.

Leica Cyclone 3DR berfungsi sebagai pembentukan *mesh*, tekstur, dan analisa model 3 dimensi yang dihasilkan dari Leica RTC360 dan Leica BLK2GO.

d) Topcon Link

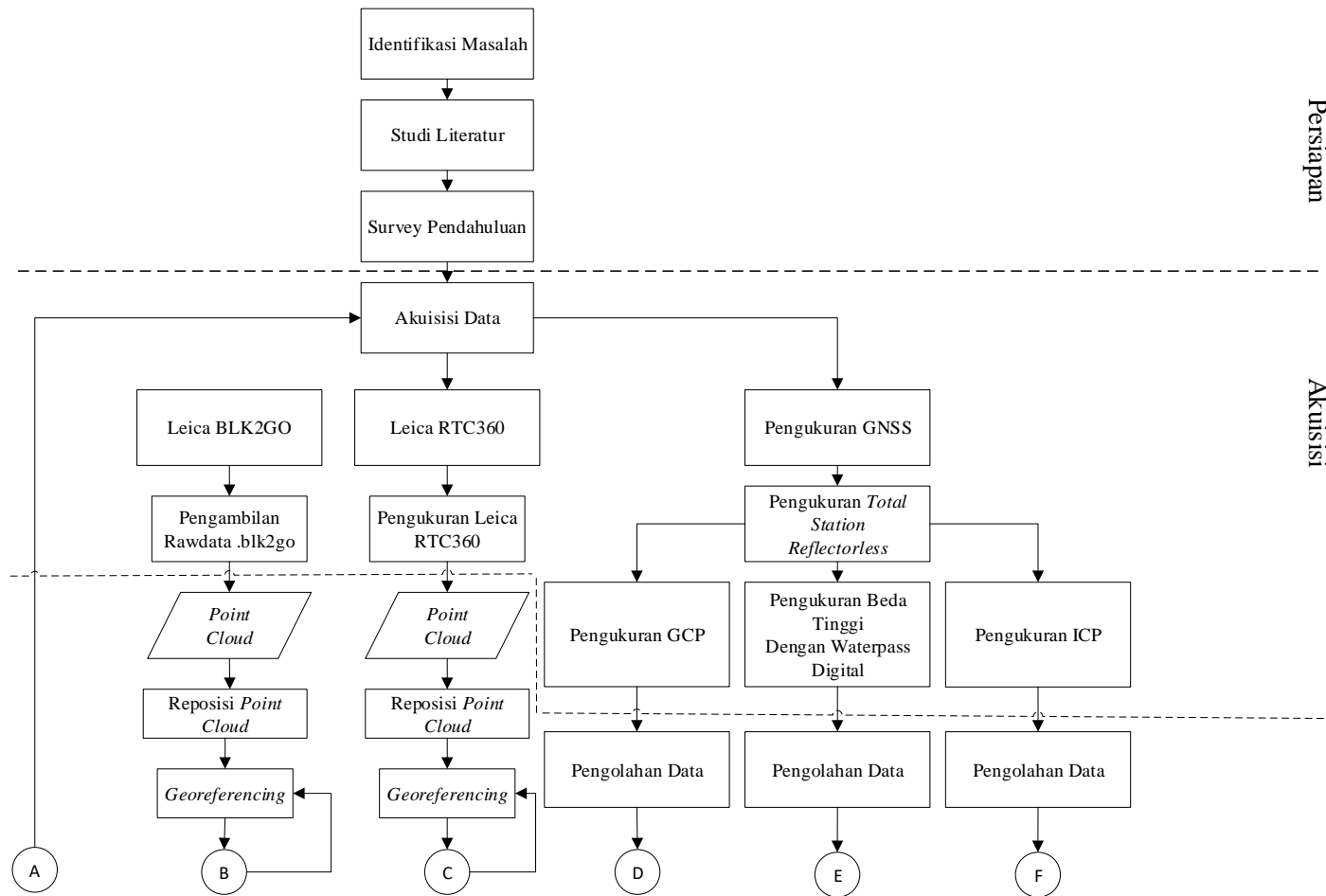
Topcon Link berfungsi sebagai pengolahan hasil data pengukuran *Total Station Reflectorless*.

e) Topcon Tools

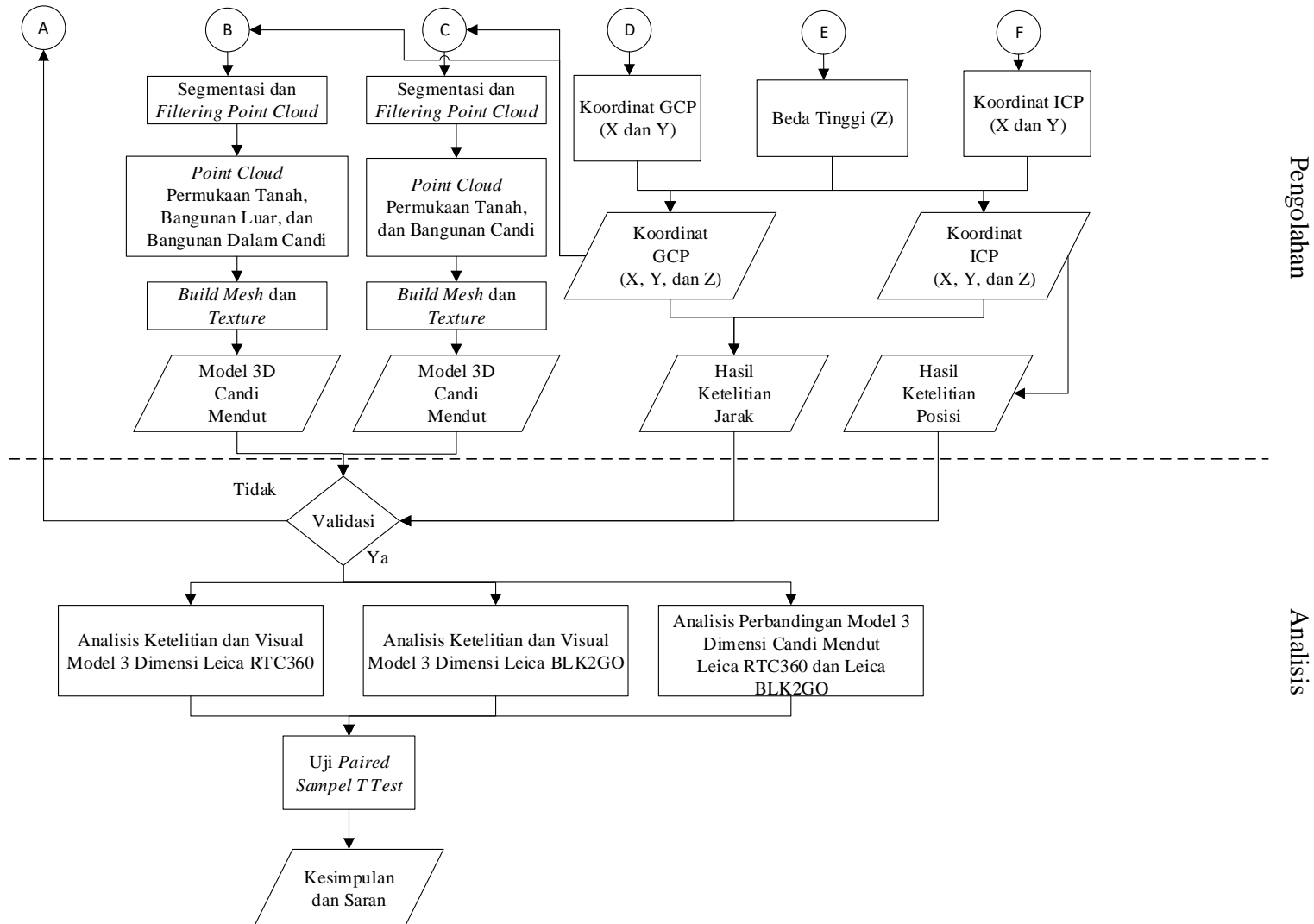
Topcon Tools berfungsi sebagai pengolahan data titik kontrol menggunakan alat GNSS HIPER SR.

I.6 Metodologi Penelitian

Penelitian ini terbagi menjadi 4 tahapan yang dapat dilihat pada **Gambar I-9** Diagram Alir Penelitian



Gambar I-9 Diagram Alir Penelitian



Pengolahan

Analisis

Gambar I-9 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

Tahapan Penelitian ini terdiri dari:

1. Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan dilakukan Identifikasi masalah, studi literatur terkait penelitian dan survei pendahuluan.

2. Tahap Akuisisi

Pada tahap ini dilakukan akuisisi data 3 dimensi menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* Leica *RTC360*, pengukuran GNSS, *autolevelling*, dan pengukuran menggunakan *total station reflectorless*.

3. Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan terhadap data yang diperoleh dari akuisisi lapangan sehingga mendapatkan model 3 dimensi yaitu pengolahan data *point cloud* dari TLS RTC 360 dan *handheld* Leica BLK2GO.

4. Tahap Analisis

Pada tahap ini dilakukan validasi dan analisis perbandingan terhadap ketelitian jarak antar titik dan posisi pada hasil pemodelan 3 dimensi dari metode fotogrametri rentang dekat dengan hasil pemodelan 3 dimensi dari data TLS.

I.7 Sistematika Penulisan Penelitian

Sistematika penulisan penelitian ini diharapkan bisa mendeskripsikan struktur laporan supaya lebih jelas dan terarah. Berikut adalah sistematika penulisannya:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan, metodologi yang berisi kerangka berpikir dari penelitian serta sistematika penulisan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori yang mendukung penelitian ini. Tujuannya sebagai pendalaman literatur bagi pembaca. Beberapa topik yang diambil seperti kajian penelitian terdahulu, kajian objek penelitian, Fotogrametri Rentang Dekat, Konsep *Terrestrial Laser Scanner* (TLS), uji validitas, uji statistik, Leica RTC360, dan Leica BLK2GO.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan tahapan perbandingan akuisisi data hingga pengolahan data guna mendapatkan *point clouds* dan model 3 dimensi Candi Mendut menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* Leica RTC360 dan Leica BLK2GO.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

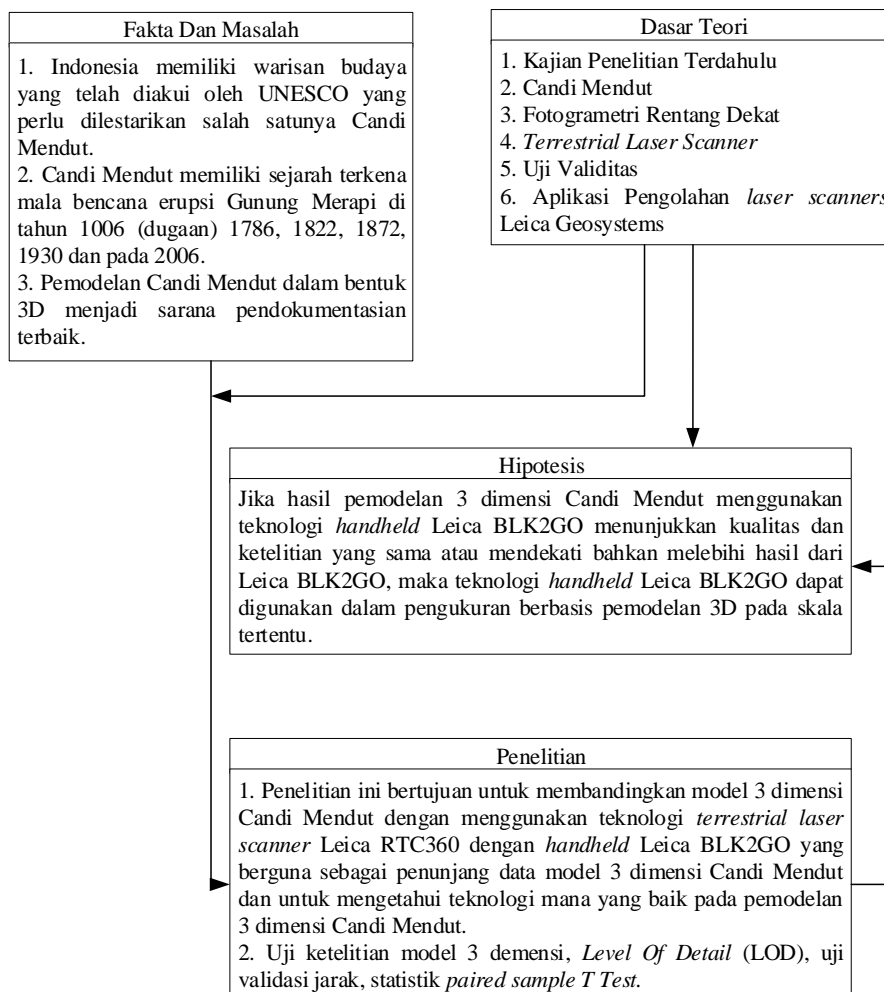
Bab ini berisi analisis hasil yang diperoleh berdasarkan tahapan pengolahan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan penelitian dan saran bagi penelitian selanjutnya.

I.8 Alur Pikir Penelitian

Di penelitian ini penulis mencoba mengemukakan alur pikir yang artinya rangkuman berasal penelitian tugas akhir ini yang di visualisasikan pada **Gambar I-10**.



Gambar I-10 Alur Pikir Penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- Herráez, J., Martínez, J. C., Coll, E., Martín, M. T., dan Rodríguez, J. (2016). *3D modeling by means of videogrammetry and laser scanners for reverse engineering. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 87, 216–227. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.03.005>
- Baik, A. (2017). From point cloud to Jeddah Heritage BIM Nasif Historical House – case study. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 4(February), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2017.02.001>
- Barus, B., Prasetyo, Y., dan ah, H. (2017). Analisis Akurasi Pemodelan 3D Menggunakan Metode *Close Range Photogrammetry (CRP)*, *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* Dan *Terrestrial Laser Scanner (TLS)*. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(4), 169–179.
- Mulyono, Y. E. R. (2018). Menggunakan Wahana *Quadcopter* Dan *Terrestrial Laser Scanner (TLS)*. *ITS*.
- Godinho, M., Machete, R., Ponte, M., Falcão, A. P., Gonçalves, A. B., dan Bento, R. (2020). *BIM as a resource in heritage management: An application for the National Palace of Sintra, Portugal. Journal of Cultural Heritage*, 43, 153–162. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.11.010>
- Wirnajaya, Y. R., Kartini, G. A. J., dan Nugroho, H. (2019). Pemodelan 3D Kopel Observatorium Bosscha Menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* Dengan Metode *Cloud To Cloud*. *NALARs*, 19(1), 41. <https://doi.org/10.24853/nalars.19.1.41-48>
- Moyano, J., Odriozola, C. P., Nieto-Julián, J. E., Vargas, J. M., Barrera, J. A., dan León, J. (2020). *Bringing BIM to archaeological heritage: Interdisciplinary method/strategy and accuracy applied to a megalithic monument of the Copper Age. Journal of Cultural Heritage*, 45, 303–314. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.03.010>
- Ramadhani, S. M., Prasetyo, Y., dan Bashit, N. (2021). Analisis Ketelitian *Point Clouds* Teknologi *Terrestrial Laser Scanner*. *Jurnal Geodesi Undip*, 10(1), 250–258.
- Hutagaol, T., Prasetyo, Y., dan Bashit, N. (2021). Analisis Ketelitian Pemodelan As *Built Drawing* Jembatan Sikatak UNDIP Berbasis Metode *Terrestrial Laser Scanner*. *Jurnal Geodesi Undip*.
- Pepe, M., Costantino, D., Alfio, V. S., Restuccia, A. G., dan Papalino, N. M. (2021). Scan to BIM for the digital management and representation in 3D GIS environment of cultural heritage site. *Journal of Cultural Heritage*, 50, 115–125. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2021.05.006>
- Abdi, H., dan Molin, P. (2006). Lilliefors/Van Soests test of normality. *Encyclopedia of Measurement and Statistics*, 1–10.
- Atkinson, K. . (1996). Close Range Photogrammetry and Machine Vision. In

- University Collage London* (Vol. 2, Nomor 1).
- Australian/New Zealand Standard. (2014). *Safety of laser products*. AS/NZS IEC 60825.1:2014.
- Balai Konservasi Borobudur. (2017). Kajian Penataan Vegetasi Kawasan Borobudur. In *Kajian Penataan Vegetasi Kawasan Borobudur* (hal. 31–107). Balai Konservasi Borobudur.
- Balai Konservasi Borobudur. (2018). *Selayang Pandang Candi Borobudur, Candi Mendut, dan Candi Pawon*. Balai Konservasi Borobudur.
- Belton, D. (2008). *Classification and Segmentation of 3D TLS Point Clouds*. April, 183.
- Dietrich, J. T. (2014). *Applications of Structure From Motion-From-Motion Photogrammetry To Fluvial Geomorphology*. Department of Geography University of Oregon.
- Ekarini, F. D. (2019). Structural Stability of Mendut Temple. *Stabilitas Struktur Candi Mendut*, 80–109.
- GeoMax. (2018). *GeoMax General Catalogue*.
- Groger, G. (2006). *Candidate OpenGIS® CityGML Implementation Specification*. the Special Interest Group 3D (SIG 3D).
- Groger, G., dan Plumer, L. (2012). CityGML – Interoperable semantic 3D city models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (ELSEVIER)*, 12–33.
- 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.
- Leica Geosystem. (2018). *User Manual Leica RTC360 Version 1.0*. Leica Geosystems.
- Leica Geosystems. (2018). Manual Book REGISTER360. In *Manual Book REGISTER360*. Leica Geosystems.
- Leica Geosystems. (2021). *Leica BLK2GO*. <https://shop.leica-geosystems.com/sites/default/files/2020-02/Leica-BLK2GO-Datasheet.pdf>
- Leica Geosystems. (2022). *Manual Book Cyclone 3DR*. Leica Geosystems.
- Leitch, K. (2002). *Close Range Photogrammetric Measurement of Bridge*

- Deformation*. Disertasi New Mexico State University.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., dan Harley, I. (2011). Close Range Photogrammetry (Principles, techniques and applications). In *Whittles Publishing* (Vol. 30, Nomor 151). <https://doi.org/10.1111/phor.12114>
- Nuryadi, Astuti, T. D., Utami, E. S., dan Budiantara, M. (2017). *Buku ajar dasar-dasar statistik penelitian*.
- Purohit, G. (2020). Overview of lasers. *Applied Innovative Research*, 2, 193–203. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1700481>
- Quintero, M. S., Genechten, B. Van, dan Bruyne. (2008). *Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning*. Project (3D Risk Mapping).
- Reshetyuk, Y. (2009). *Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning*. VDM Verlag.
- Sarwono, J., dan Budiono, H. (2012). *Statistik Terapan Aplikasi untuk Riset Skripsi Tesis Dan Disertasi Menggunakan SPSS Amos dan Excel*. PT.Elex Media Komputindo.
- Silvast, W. T. (2004). *Laser Fundamentals (Second Edition)*. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. https://doi.org/10.2150/jieij1980.65.6_252
- Soeta'at. (1994). *Fotogrametri Analitik*. Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- SOKKIA IM-50. (2019). *iM-50 Series High Quality: Vol. I*. www.topcon.co.jp
- TOPCON. (2012). *Topcon Hiper SR Manual*. 93.
- Tukijan. (2007). Tinjauan Korelasi Teknis Arkeologis Candi Borobudur, Pawon, Mnedut, dan Ngawen. In *Laporan Kajian Arsitektur*.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., dan Reynolds, J. M. (2012). "Structure-from-Motion" photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>
- Wolf, P. R. (1993). Elemen Fotogrametri Dengan Interpretasi Foto Udara dan Penginderaan Jauh (Edisi Kedua). In *Universitas Gadjah Mada* (Vol. 2, Nomor 2). Gadjah Mada University.