

BAB I. PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Negara Indonesia memiliki keanekaragaman budaya, bahasa, suku, dan agama yang sangat banyak, peninggalan bersejarah salah satunya candi. Menurut Soekmono tahun (1995), Indonesia memiliki banyak candi yang tersebar di hampir seluruh Pulau Jawa (terutama Jawa Tengah dan Jawa Timur), Bali, serta sebagian Sumatera dan Kalimantan. Menurut Istanto tahun (2018), candi merupakan seni bangun peninggalan masa lampau (Hindu-Budha) yang masih dapat dijumpai hingga saat ini. Candi Mendut berada di Desa Mendut, Kecamatan Mungkid, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah. Candi ini sebuah peninggalan purbakala yang diperkirakan dibangun pada abad ke-8 Masehi pada masa Kerajaan Mataram Kuno.

Menurut Soekmono tahun (2005), menjelaskan Raja Indra membangun bangunan suci di hutan bambu bangunan suci bernama "*Crimad Venuvana*". Menurut J.G. de Casparis tahun (1950), penamaan menurut Raja Indra dihubungkan nama Candi Mendut yang kemudian dijadikan nama desa lokasi candi tersebut. Menurut Slamet Muljana tahun (1960), dalam buku berjudul Sriwijaya menjelaskan Raja Indra berhubungan dengan Sri Maharaja Rakai Penunggalan, raja ketiga Kerajaan Medang periode Jawa Tengah (Mataram Kuno) (Balai Konservasi Borobudur, 2018). Menurut Soekmono tahun (1973), candi agama Budha difungsikan sebagai tempat pemujaan dewa. Namun pada saat sekarang candi difungsikan sebagai tempat peribadatan, pariwisata, dan kegiatan kebudayaan lainnya.

Menurut Maysyaroh tahun (2022) Sektor Pariwisata selama tahun 2010-2019 berkontribusi menyumbangkan Pendapatan Asli Daerah (PAD) di Kabupaten Magelang dengan rata-rata nilai 8,05 persen. Jika mengacu pada klasifikasi kriteria kontribusi yang dikeluarkan oleh Depdagri, Kemendagri No. 690.900.327, rentang 0 - 10 persen termasuk ke dalam golongan kontribusi yang masih sangat kurang (Maysyaroh, 2022). Hal ini seharusnya dapat ditingkatkan dengan daya tarik pengunjung akan objek wisata. Pengunjung yang mengunjungi tempat wisata dapat membangkitkan perekonomian di sekitar objek wisata dengan membeli souvenir dan juga kuliner makanan. Candi tidak sebatas hanya bangunan, tetapi juga kawasan

yang berada di sekitar candi perlu untuk dijaga kelestariannya. Hal ini terkait banyaknya temuan bagian candi berupa batu candi sejumlah 265 blok batu yang tersebar di 49 rumah. Kawasan candi memiliki batas yang dapat membedakan dengan kawasan di luar candi, dengan referensi yang diperoleh berasal dari lokasi berdirinya candi yaitu di dekat sumber air, dan dari penemuan bagian batu dan patung candi di wilayah tersebut (Hatmadja, 2006). Pentingnya penjagaan wilayah dan bangunan candi, belum adanya pemetaan kawasan candi dan pemetaan 3D candi menjadi permasalahan di masa yang akan datang. Hal ini bermanfaat salah satunya dalam proses rekonstruksi ulang bangunan fisik candi apabila terjadi bencana dan perlu pemetaan yang menentukan batas kawasan untuk menjaga temuan bagian candi.

Pemodelan Tiga Dimensi (3D) untuk bangunan bersejarah telah dilakukan oleh Juan Moyano, pada tahun 2021 meneliti pemodelan 3D bangunan bersejarah *Faada Casa de Pilatos* Istana abad ke-16 Sevilla (Spanyol) menggunakan metode *Terrestrial Laser scanner*. Pengukuran dilakukan menggunakan *Leica Geosystems BLK360* dan hasil pengukuran diolah menggunakan *Software Leica Cyclone 9.2.1*. Pembuatan model 3D *as-built parametric* dari Akuisisi data untuk permukaan kompleks bangunan bersejarah. Menurut Pacobelli tahun (2022), Pembuatan HBIM memerlukan pembentukan model secara geometri, dan *parametric*. HBIM bangunan yang ditampilkan disertai informasi, agar pengguna dapat memahami informasi pada bangunan bersejarah. HBIM dibentuk dari satu objek dibagi menjadi beberapa bagian bangunan (*segmentasi*). Agar pembuatan model terintegrasi untuk kegiatan konservasi. perangkat lunak dari *Sistem Informasi Geografis (GIS)* yang cocok untuk visualisasi model yaitu *ArcGIS*. Menurut Bruno tahun (2020) HBIM dikembangkan berbasis *Web* dapat mengintegrasikan data HBIM dalam menampilkan pemodelan bangunan bersejarah.

Pada penelitian ini pemodelan 3D Candi Mendut menggunakan teknologi HBIM karena *Heritage Building Information Modelling (HBIM)* dapat mengintegrasikan data menjadi satu untuk memberikan informasi ke pengguna mengenai sejarah dan model 3D untuk membantu rekonstruksi candi di masa yang akan datang. Jika terjadi bencana yang dapat membahayakan candi dapat direkonstruksi ulang, peneliti dapat menyimpan arsip bangunan dengan bentuk

digital sesuai bentuk aslinya secara 3D bangunan candi. Informasi yang disampaikan dapat dikaitkan dengan pengetahuan tentang cerita yang ada pada tembok candi (*relief*), dan peta kawasan Candi Mendut. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder *Terrestrial Laser scanner* (TLS) dan data sekunder *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Aplikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *Cyclone Register 360*, *Cyclone 3DR*, *Trimble Software*, *Agisoft Metashape*, *City Engine*, dan *ArcGIS Online*. Metode yang digunakan pada data TLS adalah *Cloud to cloud*. Hasil pemodelan 3D tersebut nantinya akan dianalisis kualitatif dan analisis kuantitatif. Hasil pengolahan data 3D dianalisis *Heritage Building Information Modelling* (HBIM), bangunan candi dilakukan tahapan *segmentasi* per bagian candi dengan mengelompokkan menjadi beberapa kelas, agar dalam menampilkan hasil 3D dapat memberikan informasi per bagian bangunan candi, informasi ditampilkan lebih menarik dan mudah dimengerti oleh pengguna.

Harapannya dengan adanya penelitian ini dapat mengantisipasi bencana yang terulang kembali, pembuatan *Heritage Building Information Modelling* (HBIM) bangunan dari Candi Mendut dapat memberikan informasi dengan lebih detail dari bangunan candi untuk melakukan rekonstruksi ulang candi di masa akan datang dan menjaga kawasan dari Candi Mendut.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana analisis hasil pemodelan 3D bangunan candi menggunakan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan *Terrestrial Laser scanner* (TLS)?
2. Bagaimana analisis hasil *Heritage Building Information Modelling* (HBIM) bangunan dan kawasan dari Candi Mendut?
3. Bagaimana analisis hasil Uji *Validitas*, Uji *Reliabilitas* dan *Usability Testing Heritage Building Information Modelling* (HBIM) Candi Mendut?

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari pelaksanaan penelitian ini sebagai berikut:

1. Memperoleh analisis hasil pemodelan 3D bangunan Candi Mendut Kabupaten Magelang.
2. Memperoleh analisis hasil *Heritage Building Information Modelling* (HBIM) dan kawasan dari Candi Mendut Kabupaten Magelang.
3. Memperoleh analisis hasil Uji *Validitas*, Uji *Reliabilitas* dan *Usability Testing Heritage Building Information Modelling* (HBIM) Candi Mendut Kabupaten Magelang.

Manfaat penelitian sebagai berikut:

1. Bidang Rekayasa

Hasil penelitian ini dapat memberikan hasil *Heritage Building Information Modelling* (HBIM) dengan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan *Terrestrial Laser scanner* (TLS)

2. Bidang Keilmuan

Hasil penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang lebih tentang *Heritage Building Information Modelling* (HBIM) dan kawasan Candi Mendut, penelitian ini diuji dengan Uji *Validitas*, Uji *Reliabilitas* dan *Usability Testing*.

I.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi oleh hal-hal berikut:

1. Data yang dipakai dari *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan *Terrestrial Laser scanner* (TLS) dengan hasil berupa model 3D Berskala 1: 100, skala ini dipakai karena skala ini merupakan skala besar untuk memodelkan suatu bangunan yang tidak terlalu besar.
2. Pengolahan data *point cloud* hasil pengukuran *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan *Terrestrial Laser scanner* (TLS) menggunakan metode *cloud to cloud*. Pemodelan disini dimaksudkan untuk menampilkan bentuk model didapatkan dari data sekunder.
3. Model 3D menggunakan skala 1 : 100 sesuai bentuk kenampakan aslinya. Model 3D dilakukan proses *segmentasi* ditampilkan dalam bentuk HBIM

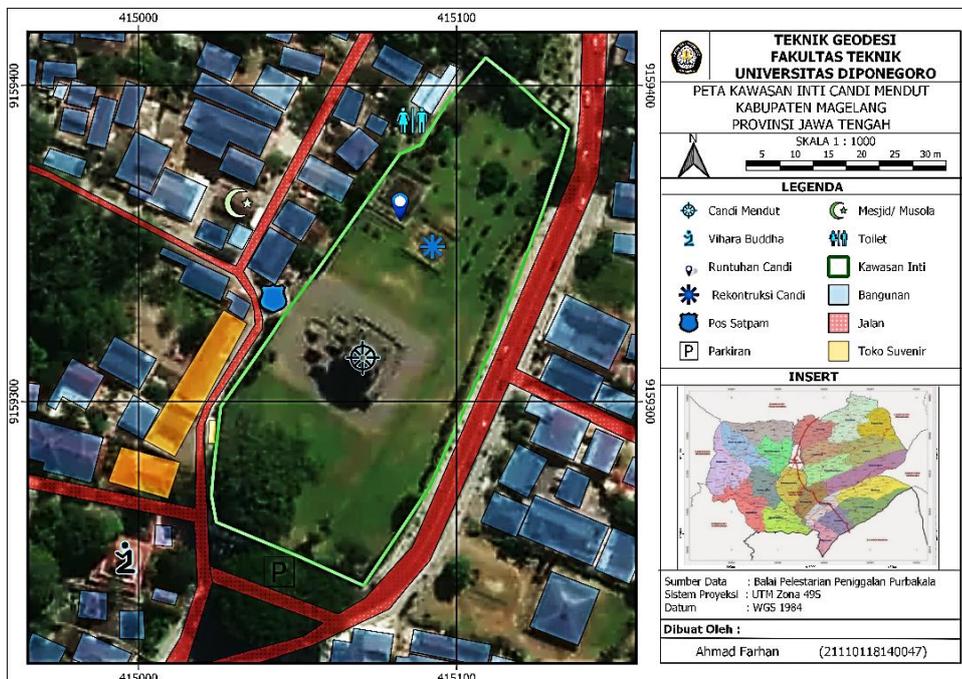
dengan disertai sejarah dan penjelasan mengenai bentuk *relief* candi, dan kawasan Candi Mendut, .

4. HBIM diuji dengan menyebarkan *kuesioner*, berguna untuk menguji pemakaian *web* HBIM.

I.5 Ruang Lingkup

I.5.1 Wilayah Penelitian

Penelitian berada pada kawasan Candi Mendut di Jalan Mayor Kusen Desa Mendut, Kecamatan Mungkid, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah. Candi Mendut terletak di $7^{\circ} 36' 17,17''$ LS, $110^{\circ} 13' 48,01''$ BT, sekitar 38 km ke arah barat laut dari D.I.Yogyakarta. Secara geografis Candi Mendut terletak di antara Sungai Progo dan Elo serta dikelilingi oleh Gunung Sindoro dan Sumbing di sebelah Utara, Gunung Merapi dan Merbabu di sebelah Timur, dan Pegunungan Menoreh di sebelah Selatan. Candi Mendut berada sekitar 3 km dari Candi Borobudur, Candi Mendut dan Candi Pawon merupakan Candi Buddha yang diperkirakan memiliki kaitan erat. Satu garis lurus arah utara-selatan merupakan letak ketiga candi. Lokasi pelaksanaan penelitian disajikan dalam bentuk peta dapat dilihat seperti pada **Gambar I-1**.



Gambar I-1. Peta Administrasi Kabupaten Magelang (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 Sekunder <i>Terrestrial Laser scanner (TLS)</i>	Balai Konservasi Borobudur	2022	Data ini didapatkan dari pengukuran yang dilakukan oleh Balai Konservasi Borobudur dengan alat <i>Leica RTC360</i> .
2.	Data Sekunder <i>Unmanned Aerial Vehicle (UAV)</i>	Balai Konservasi Borobudur	2022	Data ini didapatkan dari pengukuran yang dilakukan oleh Balai Konservasi Borobudur dengan UAV <i>Phantom 3</i> .
3	Data <i>Total Station Reflectorless Sokkia IM-50</i>	Balai Konservasi Borobudur	2022	Data ini didapatkan dari pengukuran yang dilakukan oleh Balai Konservasi Borobudur dengan <i>Total Station Reflectorless Sokkia IM-50</i>
4	Data Sekunder BLk2GO	Balai Konservasi Borobudur	2022	Data ini didapatkan dari pengukuran yang dilakukan oleh Balai Konservasi Borobudur dengan <i>Leica Geosystems Indonesia</i> pada bulan Agustus

2. Peralatan

A. Perangkat keras

Perangkat keras yang dipakai dalam penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

a) *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*

Tampilan UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat seperti pada **Gambar I-2**.



Gambar I-2 . DJI *Phantom 3* (Dji, 2015).

Tipe UAV yang digunakan memiliki spesifikasi dapat dilihat seperti pada **Tabel I-2**.

Tabel I-2 Spesifikasi dan Keterangan dari DJI *Phantom 3* (Dji, 2015)

Spesifikasi	Keterangan
Resolusi Kamera	12 <i>Megapiksel</i>
Format Video dan Foto	Foto: DNG dan JPEG Video: MP4, MOV(MPEG 4 AVC/H 264)
<i>Gimbal-Stabilized</i>	3-axis (<i>Pitch, Roll, Yaw</i>)
<i>Sensor</i>	<i>Sony EXMOR 1/2.3" Effective Pixel: 12.4 M (Total pixels: 12.76 M)</i>
Kapasitas Baterai	4480mAh/ <i>Lipo 4S</i>
<i>Single-Frequency, High-Sensitivity GNSS Module</i>	GPS/GLONASS
Frekuensi <i>remote Controller</i>	2.400 GHz-2.483 GHz
Waktu terbang maksimal	<i>Approx. 23 minutes</i>

b) *Terrestrial Laser scanner (TLS)*

Terrestrial Laser scanner (TLS) yang digunakan dalam penelitian terlihat pada **Gambar I-3**.



Gambar I-3. 3D *Laser scanner* RTC360 (Kurkela, 2021).

Spesifikasi dan keterangan 3D *Laser scanner* RTC360 yang digunakan dalam penelitian terlihat pada **Tabel I-3**.

Tabel I-3. *Spesifikasi* dan keterangan 3D *Laser scanner* RTC360 (Leica Geosystem, 2023).

Spesifikasi	Keterangan
Kinerja	
Akuisisi Data	Kurang 2 menit untuk pemindaian penuh dan gambar HDR <i>safaris</i> pada resolusi 6mm @ 10 m
Waktu nyata <i>registrasi</i>	Penyelarasan titik <i>cloud</i> otomatis berdasarkan pelacakan pergerakan pemindai waktu nyata antara pengaturan berdasarkan <i>Visual Inersia Sistem (VIS)</i>

Tabel I 3. Spesifikasi dan keterangan 3D Laser scanner RTC360
(Leica Geosystem, 2023).

Spesifikasi	Keterangan
Scanning	
Pengukuran jarak	Waktu penerbangan berkecepatan tinggi dan dinamis yang ditingkatkan dengan teknologi <i>Waveform Digitizing</i> (WFD)
Laser kelas	1 (sesuai dengan IEC 60825-1:2014), 1550 nm (tidak terlihat)
Bidang lihat	360° (horizontal) / 300 ° (vertikal)
Rentang	Min. 0,5 – hingga 130 m
Kecepatan	Hingga 2.000.000 <i>point</i> / detik
Resolusi	3 pengaturan yang dapat dipilih pengguna (3/6/12 mm @ 10 m)
Akurasi*	Akurasi sudut 18" Akurasi jangkauan 1,0 mm + 10 ppm Akurasi titik 3D 1,9 mm @ 10 m 2,9 mm @ 20 m 5,3 mm @ 40 m
Rentang <i>noise</i> *	** 0,4 mm @ 10 m, 0,5 mm @ 20 m
IMAGING	
Kamera	36 MP Sistem 3-kamera menangkap data mentah 432 MPx untuk gambar 360° x 300 °
Kecepatan	1 menit untuk gambar HDR bulat penuh
SENSOR NAVIGASI	
Sistem <i>Visual Inersia Sistem</i>	pengukuran inersia video yang disempurnakan untuk melacak pergerakan posisi pemindai relatif terhadap pengaturan sebelumnya secara <i>real time</i>
Kemiringan	berbasis IMU, Akurasi: 3' untuk semua <i>tilt Sensor</i> tambahan Altimeter, Kompas, GNSS
OPERASI	
Pada Pemindai	Kontrol layar sentuh dengan sentuhan jari, tampilan grafis WVGA penuh warna 480 x 800 piksel
Perangkat seluler Aplikasi	<i>Leica Cyclone FIELD</i> 360 untuk komputer <i>tablet</i> iOS dan Android serta <i>smartphone</i> termasuk: – <i>Remote control</i> fungsi pemindaian – Tampilan data 2D & 3D g – Penandaan – Penyelarasan otomatis pemindaian
Penyimpanan Data	LAN <i>nirkabel</i> terintegrasi <i>Nirkabel</i> (802.11 b/g/n) <i>Leica MS256, flash drive</i> USB 3.0 256 GB yang dapat ditukar
DESAIN & FISIK	
Rangka	aluminium dan penutup samping
Dimensi	120 mm x 240 mm x 230 mm / 4,7" x 9,4" x 9,1"
Berat	5,35 kg / 11,7 lbs, nominal (tanpa baterai)
Daya	
Baterai <i>internal</i>	2 x <i>Leica GEB361 internal</i> , baterai <i>Li-Ion</i> isi ulang. Durasi: Biasanya hingga 4 jam Berat: 340 g per baterai
<i>Eksternal</i>	<i>Adaptor AC Leica GEV282</i>
LINGKUNGAN	
Suhu pengoperasian	- 5° hingga +40°C
Suhu penyimpanan	-40° hingga +70°C

c) BLK2GO



Gambar I-4. BLK2GO (Leica Geosystems, 2023).

Spesifikasi BLK2GO dapat dilihat seperti pada **Tabel I-4.**

Tabel I-4. Spesifikasi BLK2GO (Leica Geosystems, 2023).

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 <i>point</i> /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 <i>pixel</i>, 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 <i>Operasional</i>: +5 to +40 °C - Perlindungan debu dan kelembapan: IP54 (IEC 60529)
Pengolahan Data	- Perangkat Lunak: <i>Cyclone REGISTER 360</i> dan <i>Cyclone REGISTER 360 (BLK Edition)</i>

B. Perangkat Lunak

- a) *Microsoft Windows 10 Home*
- b) *Microsoft Office 2016*
- c) *Microsoft Excel 2016*
- d) *Trimble Business Centre*
- e) *Cyclone Register 360*

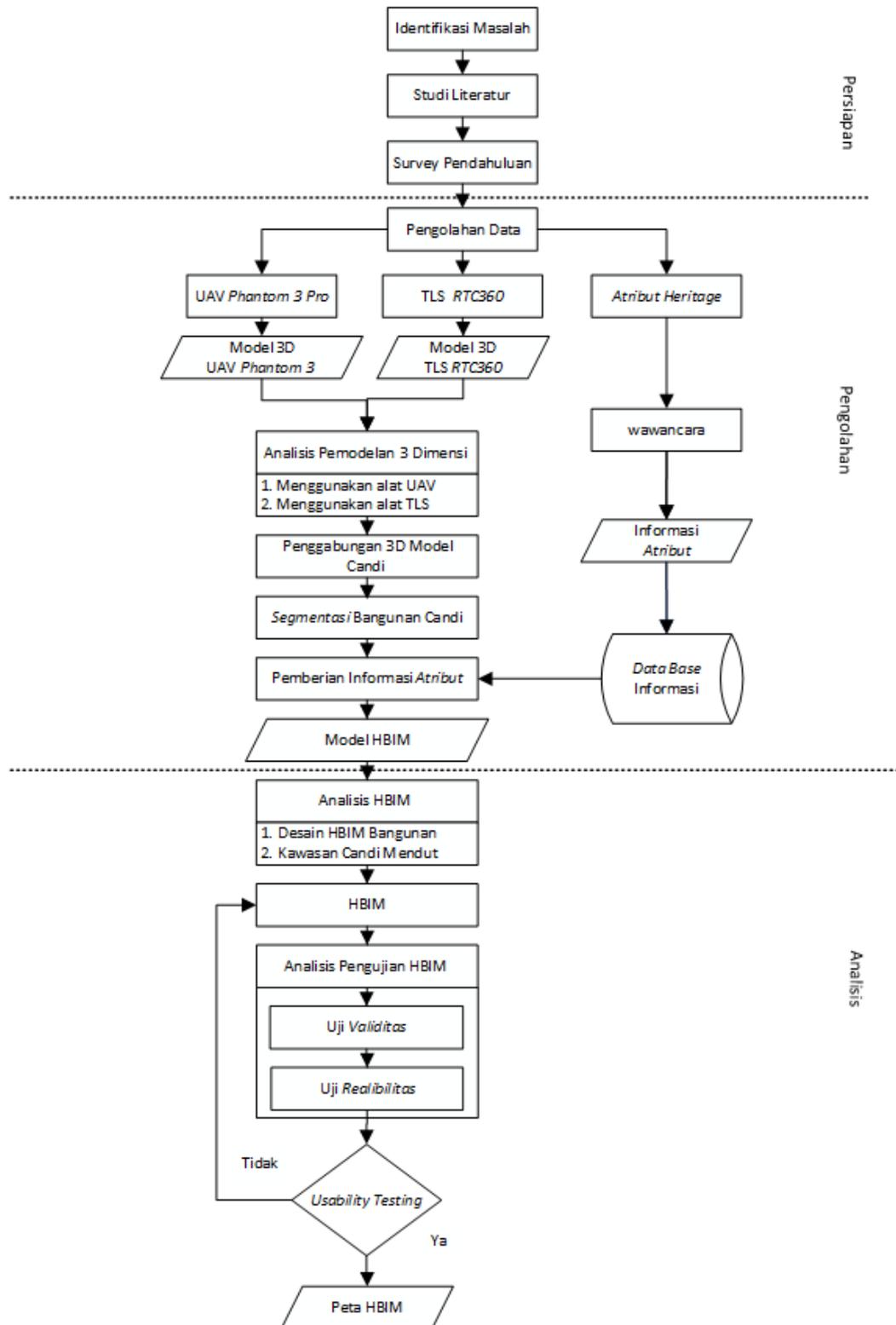
- f) *Cyclone 3DR*
- g) *City Engine*
- h) *ArcGIS Online*
- i) *R Studio*
- j) *Agisoft Metashape.*

I.6 Metodologi Penelitian

Penelitian terbagi dalam 3 tahapan meliputi sebagai berikut, yaitu:

1. Persiapan terdiri dari identifikasi masalah, studi literatur, dan survei pendahuluan.
2. Pengolahan terdiri dari Data UAV, Data TLS dan *Atribut Haritage*.
3. Analisis terdiri dari pemodelan 3D, pembuatan HBIM, Uji *Validitas*, Uji *Realibilitas* dan *Usability Testing*.

Diagram Alir Penelitian dapat dilihat pada **Gambar I-5**.



Gambar I-5 . Diagram Alir Penelitian.

Tahapan Penelitian ini terdiri dari sebagai berikut, yaitu:

1. Tahap Persiapan

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

2. Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini melakukan pengolahan data *point clouds* dari UAV dan TLS untuk mendapatkan model 3D bangunan candi, dan membuat informasi bangunan dan pemetaan kawasan Candi Mendut.

3. Tahap Analisis

Pada tahap ini dilakukan analisis pemodelan 3D HBIM dan menguji kekuatan *web* dengan Uji *Validitas*, Uji *Reliabilitas* dan *Usability Testing*.

I.7 Sistematika Penulisan Penelitian

Penulisan laporan dilakukan secara sistematika dengan susunan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan dan Manfaat Penelitian, Batasan Masalah, Ruang Lingkup, Metodologi Penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang kajian penelitian terdahulu, kajian objek penelitian, konsep BIM, Konsep UAV, Konsep TLS, Uji *Validitas*, Uji *Realibilitas*, *Usability Testing*, *Cyclone Register 360*, *Cyclone 3DR*, *Trimble Software*, dan *Agisoft Metashape*.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan tahapan persiapan, tahapan pengolahan data : model 3D dengan TLS, model 3D dengan UAV, *segmentasi* bangunan, HBIM, Pemetaan Kawasan, Uji *Validitas*, Uji *Realibilitas*, dan *Usability Testing*.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

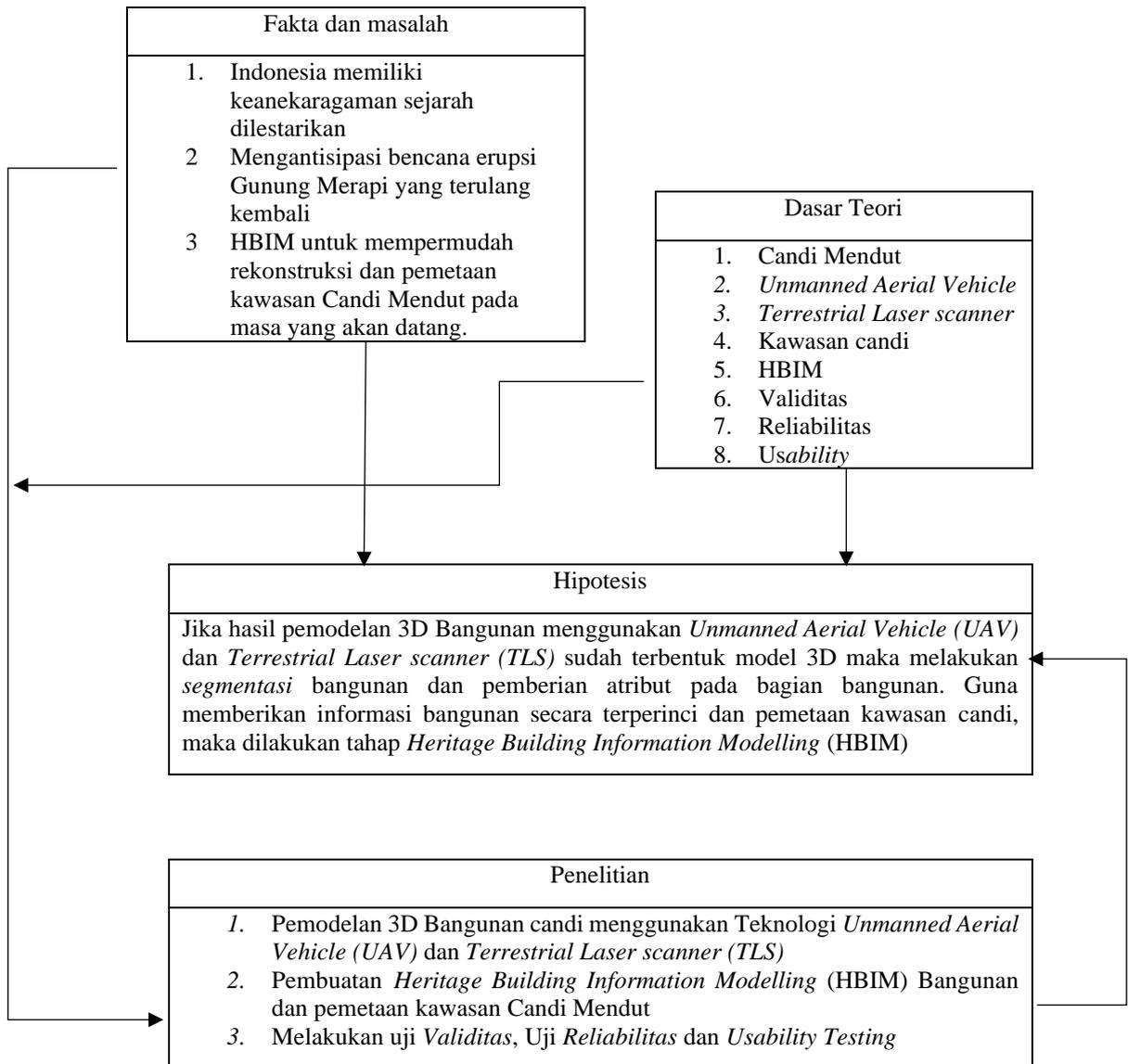
Bab ini berisi hasil dan analisis penelitian, yaitu : pemodelan 3D bangunan, HBIM, analisis kawasan, Uji *Validitas*, Uji *Realibilitas*, dan *Usability Testing*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan Kesimpulan dan Saran bagi penelitian selanjutnya.

I.8 Alur Pikir Penelitian

Alur Pikir dari penelitian tugas akhir ini dapat terlihat pada **Gambar I-6.**



Gambar I-6. Alur Pikir penelitian.