

ANALISIS KETELITIAN DATA AIRBORNE LiDAR DALAM PEMODELAN TIGA DIMENSI BANGUNAN GEDUNG TINGKAT LEVEL OF DETAIL 2

Taufik Yulianto^{1*}, Catur Aries Rokhmana²

¹Teknologi Survei dan Pemetaan Dasar, Departemen Teknologi Kebumihan, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

²Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Research Article

DOI:

10.22146/jgst.v2i2.14853

correspondence:

taufikyulianto@mail.ugm.ac.id

Article history:

Received:

17-07-2024

Accepted:

06-09-2024

Published:

31-12-2024

ABSTRACT

Survey and mapping technology continues to develop, including three-dimensional mapping, which is increasingly important in architecture, urban planning, and cartography. *Airborne* LiDAR is an effective method for 3D modelling buildings and high-rise structures in urban planning. This study evaluates the accuracy of *Airborne* LiDAR data in creating 3D building models with LOD 2 accuracy. The modelling of Balairung, Perpustakaan, and Grha Sabha Pramana buildings at UGM was carried out using the Vectorize building method on Microstation Connect software. The resulting building models were then re-evaluated, including the roof model, building height, and building width or length. Roof model evaluation was performed through a visual test comparing the modelled roof shape with *orthophoto* data. The review of building height, width, and length was done by comparing the model results with direct measurement data using a Total Station. The classification of *point cloud* data resulted in five classes: ground, low vegetation, medium vegetation, high vegetation, and building. DTM processing produced an RMSE of 0.0964 cm and LE95 of 0.188994. The visual accuracy test showed completeness of 97.918%, correctness of 97.763%, and quality of 95.828%, with geometric quality of 0.3128 m, indicating that *Airborne* LiDAR data is suitable for 3D building modelling with LOD 2.

Key words: *Airborne* LiDAR, 3D Building Model, Vectorize Building, LOD 2

INTISARI

Teknologi survei dan pemetaan terus berkembang, termasuk pemetaan wilayah tiga dimensi yang semakin penting dalam arsitektur, perencanaan kota, dan pemetaan. *Airborne* LiDAR merupakan metode efektif untuk pemodelan 3D bangunan dan gedung tinggi dalam penataan kota. Penelitian ini mengevaluasi ketelitian data *Airborne* LiDAR dalam pembuatan model 3D bangunan dengan tingkat ketelitian LOD 2. Pemodelan pada gedung Balairung, Perpustakaan, dan Grha Sabha Pramana UGM dilakukan menggunakan metode Vectorize building pada perangkat lunak Microstation Connect. Hasil pemodelan bangunan gedung kemudian dievaluasi ulang, termasuk model atap, tinggi bangunan, dan lebar atau panjang bangunan. Evaluasi model atap dilakukan dengan uji visual model yang membandingkan bentuk atap hasil pemodelan dengan data *orthophoto*. Evaluasi pada tinggi, lebar dan panjang bangunan dilakukan dengan membandingkan hasil pemodelan terhadap data ukuran langsung menggunakan Total Station. Hasil klasifikasi data *point cloud* menghasilkan 5 kelas yaitu kelas ground, low vegetation, medium vegetation, high vegetation, dan building. Pengolahan DTM menghasilkan RMSE 0,0964 cm dan LE95 0,188994. Uji akurasi visual menunjukkan nilai completeness 97,918%, correctness 97,763%, dan quality 95,828%, dengan kualitas geometri 0,3128 m, menunjukkan bahwa data *Airborne* LiDAR sesuai untuk pemodelan 3D bangunan dengan LOD 2.

Kata kunci: *Airborne* LiDAR, 3D Bangunan Gedung, Vectorize Building, LOD 2

1. Pendahuluan

Teknologi survei dan pemetaan telah mengalami perkembangan yang sangat pesat hingga saat ini. Inovasi yang terus-menerus muncul telah membawa perubahan signifikan, termasuk dalam

pemetaan wilayah tiga dimensi. Seiring berjalannya waktu, pembuatan model kota tiga dimensi menjadi semakin penting dalam bidang arsitektur, perencanaan kota, pemetaan, dan berbagai aplikasi lainnya (Noviana dkk., 2017).

Untuk mendukung perkembangan teknologi yang sangat pesat dalam pemodelan tiga dimensi bangunan dan gedung tinggi di bidang pemetaan, arsitektur, dan perencanaan kota, diperlukan teknologi yang efektif. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mendukung perkembangan teknologi yang sangat pesat yaitu *Airborne LiDAR*. *Airborne LiDAR (Light Detection and Ranging)* adalah teknologi yang kini banyak digunakan untuk menentukan tinggi dan memodelkan bangunan dalam bentuk 3D. Keunggulan teknologi LiDAR meliputi kerapatan data yang mencapai 15-20 cm, kemampuan menghasilkan penataan kawasan kota yang baik, serta efektivitas dalam akuisisi data (Hajar dkk., 2017).

Airborne LiDAR lebih efektif digunakan untuk pembuatan model tiga dimensi bangunan gedung dengan ketelitian LOD 2. Oleh karena itu, penelitian ini perlu dilakukan pengkajian ulang untuk menilai ketelitian data *Airborne LiDAR* dalam menentukan tinggi bangunan gedung dan model bentuk atap dari hasil pemodelan tiga dimensi pada tingkat ketelitian LOD 2. Penelitian ini diharapkan dapat mengevaluasi ketelitian dan kualitas data *Airborne LiDAR* dalam pemodelan tiga dimensi bangunan gedung, baik dari segi ketinggian gedung maupun bentuk atap yang dihasilkan.

1.1. Tujuan

Tujuan utama dari penelitian ini adalah melakukan pemodelan 3D (tiga dimensi) bangunan gedung menggunakan metode *vectorize building* dan mengetahui ketelitian dari data *point cloud Airborne LiDAR* untuk pemodelan 3D pada tingkat ketelitian LOD 2.

1.2. LiDAR (*Light Detection and Ranging*)

Lidar (*Light detection and Ranging*) merupakan perangkat atau sistem yang sering digunakan dalam survei, pengukuran, atau pengamatan dengan menggunakan metode penginderaan jauh aktif. LiDAR menggunakan cahaya optik berupa pulsa laser untuk mengukur jarak ke objek di permukaan bumi dengan tingkat kerapatan dan akurasi yang tinggi (Hajar dkk., 2017). Sistem ini merupakan kombinasi dari LRF (*Laser Range Finder*) yang terintegrasi dengan POS (*Positioning and Orientation System*), DGPS (*Differential Global Positioning System*), IMU (*Inertial Measurement Unit*), dan Control Unit dengan dua sensor, yaitu *transmitter* dan *receiver*. GPS pada LiDAR menentukan posisi wahana terbang dalam 3D (X, Y, Z), sedangkan IMU memonitor akselerasi dan rotasi wahana pada sumbu X (roll), Y (pitch), dan Z (yaw atau heading) (Atmaja dkk., 2016). LiDAR bekerja dengan transmitter yang mengirimkan pulsa laser ke target di permukaan bumi, yang kemudian dipantulkan kembali dan diterima oleh receiver sebagai data jarak. Jarak ini ditentukan berdasarkan perbedaan waktu antara pemancaran dan penerimaan pulsa laser. Dengan demikian, untuk menentukan jarak sensor dengan objek dapat dihitung dengan persamaan (1) berikut (Sari, 2016). Adapun ilustrasi akuisisi *Airborne LiDAR* dapat dilihat pada Gambar 1.

$$R = (c \times t) / 2 \quad (1)$$

Dalam hal ini, R : jarak antara sensor dengan objek yang diukur (m), c : kecepatan cahaya 3×10^8 m/s, dan t : waktu tempuh sinyal.

1.2.1. Point Cloud

Data *point cloud* LiDAR merupakan kumpulan titik-titik 3D dari permukaan bumi atau objek lain yang dihasilkan oleh sensor LiDAR. Data ini terdiri dari titik-titik yang merepresentasikan posisi dan elevasi masing-masing titik. Setiap *point cloud* LiDAR memiliki koordinat spasial tiga dimensi (X, Y, dan Z) yang menunjukkan posisi dari masing-masing titik (NOAA, 2012). Data *point cloud* dapat menyimpan informasi tambahan seperti informasi kembali, jumlah titik yang dipantulkan, waktu pengukuran, dan ketinggian pesawat. Data *point cloud* disimpan dalam berbagai format, mulai dari ASCII (teks, CSV, dan lainnya) hingga format biner (LAS, bin, dan format proprietary). Format biner ini adalah standar file yang telah distandarisasi dan memiliki ukuran yang lebih kecil (Julian & Harintaka, 2019).

1.2.2. Klasifikasi Point Cloud

Klasifikasi *point cloud* merupakan suatu proses untuk memisahkan data *point clouds* dari suatu kategori objek dengan kategori objek yang lain. Adapun proses klasifikasi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu klasifikasi secara otomatis dan klasifikasi secara manual (Nugroho & Puspasari, 2018). Klasifikasi otomatis adalah metode yang digunakan untuk mengklasifikasikan *point cloud* dengan menggunakan perangkat lunak pengolahan LiDAR. Diperlukan algoritma yang tepat untuk memastikan *point cloud* diklasifikasikan ke dalam kelas sesuai dengan kelasnya. Adapun algoritma

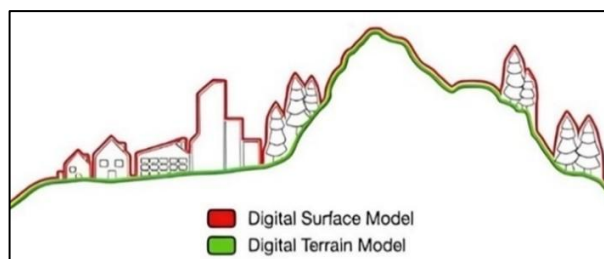
yang dapat digunakan untuk melakukan klasifikasi *point cloud* secara otomatis yaitu *algoritma macro terrasolid* (Kholifah, 2022). Klasifikasi manual adalah proses mengklasifikasikan *point cloud* secara manual dengan mengidentifikasi kelas objek berdasarkan kategori yang tidak tercakup dalam klasifikasi otomatis. Selama klasifikasi manual, setiap *point cloud* perlu diperiksa secara visual pada data *orthophoto*. (Kholifah, 2022).

1.3. Algoritma Macro Terrasolid

Klasifikasi *point cloud* dapat dilakukan secara otomatis menggunakan algoritma *Macro Terrasolid* pada perangkat lunak *Microstation*. Algoritma ini menggunakan *text code* atau *binary code* untuk mengklasifikasikan *point cloud*, memungkinkan operator untuk melihat data dalam bentuk tiga dimensi, mengklasifikasikannya, dan membuat data vektor berdasarkan titik-titik tersebut. Tujuan dari proses klasifikasi dengan algoritma *Macro Terrasolid* adalah untuk membagi *point cloud* menjadi dua kelas yaitu *ground* dan *non-ground*. Nilai-nilai dalam algoritma *Macro* merepresentasikan *wizard step* yang digunakan untuk melakukan klasifikasi secara otomatis (Hariyono & Windiastuti, 2018).

1.4. Representasi Permukaan

Digital Surface Model (DSM) adalah model permukaan bumi yang terdiri dari aspek medan, bangunan, vegetasi, dan saluran listrik. Dengan demikian, DSM dapat digunakan untuk menggambarkan bentuk topografi permukaan bumi. Berbeda dengan DSM, *Digital Terrain Model* (DTM) digunakan untuk menggambarkan *terrain* dari permukaan tanah. DTM adalah model yang digunakan untuk merepresentasikan permukaan tanah (*ground*) dengan banyak titik yang digunakan dan memiliki koordinat x,y dan z yang memiliki referensi tertentu (Firdaus dkk., 2020).



Gambar 1. Ilustrasi DTM dan DSM (Asharyanto dkk., 2015).

1.5. Model Tiga Dimensi (3D)

Pemodelan tiga dimensi (3D) adalah representasi digital dari objek yang dirancang agar menyerupai bentuk aslinya. Proses ini memerlukan perangkat lunak komputer untuk menciptakan representasi virtual dari berbagai objek, baik benda mati seperti bangunan dan kendaraan maupun benda hidup seperti manusia dan hewan. Model 3D dibangun menggunakan koordinat X, Y, dan Z. Untuk memodelkan objek nyata dalam 3D, diperlukan pengukuran dan observasi menggunakan teknologi survei. Representasi model 3D biasanya dianggap sebagai data terstruktur, seperti model *wireframe*, *surface*, dan *solid* (Suwardhi dkk., 2016). *Wireframe* adalah representasi grafis objek 3D menggunakan garis dan titik. *Surface* 3D model menampilkan permukaan objek tanpa memperhatikan volume internal. *Solid* 3D model mencakup representasi objek 3D yang meliputi volume dan permukaan (Batara, 2011).

1.6. Model Bangunan 3D

Pemodelan bangunan dalam bentuk tiga dimensi (3D) mengacu pada standar yang diberikan oleh *Open Geospatial Consortium* (OGC). OGC merupakan organisasi internasional bidang geospasial yang menerbitkan standar CityGML yang digunakan untuk standarisasi bentuk tiga dimensi (3D) bangunan. Standar CityGML pada pemodelan 3D memberikan tingkatan kedetilan yang biasa disebut dengan *Level of Detail* (LOD) (Trikusuma dkk., 2021). *Level of Detail* (LOD) adalah konsep dalam pemodelan 3D untuk menentukan seberapa detail model dibuat. Menurut standar CityGML, LOD dibagi menjadi lima tingkatan: LOD0, LOD1, LOD2, LOD3, dan LOD4. LOD0 adalah level terendah yang menampilkan model 2,5D dari digital terrain model (DTM). LOD1 mengubah model 2D bangunan menjadi 3D dengan bentuk sederhana dan atap datar. LOD2 menampilkan bangunan dalam bentuk 3D dengan atap yang menyerupai bentuk aslinya. LOD3 menunjukkan detail yang lebih tinggi dari model 3D, dengan dinding dan atap yang mirip dengan bentuk aslinya. LOD4 melengkapi tingkat sebelumnya dengan menambahkan struktur interior pada model 3D (Biljecki dkk., 2016).

1.7. Vectorize Building

Vectorize building adalah algoritma pada *TerraScan* yang digunakan untuk memproses data LiDAR menjadi model 3D bangunan secara otomatis. Algoritma ini cepat menghasilkan model vektor 3D

bangunan dan atap dengan mengidentifikasi dan menghubungkan titik-titik dalam *point cloud* LiDAR untuk membentuk poligon yang mewakili bangunan. Hasilnya adalah model digital bangunan yang bisa digunakan untuk analisis lebih lanjut, pemetaan kota, perencanaan arsitektur, dan aplikasi lainnya (Salolahti, 2010).

1.8. Uji Akurasi

Uji akurasi dalam penelitian diperlukan untuk memastikan hasil yang diinginkan tercapai. Uji yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu membandingkan data *Airborne* LiDAR dengan data lapangan. Tujuannya adalah untuk mengukur ketelitian vertikal *point cloud*, ketelitian akurasi visual dan geometri 3D hasil pemodelan.

1.8.1. Uji Akurasi Vertikal

Uji akurasi vertikal merupakan uji untuk mengevaluasi akurasi data elevasi dibandingkan dengan data referensi yang lebih akurat, yaitu *Independent Control Point* (ICP) dari pengukuran GNSS. Uji ini mengacu pada standar ASPRS 2014 dan menggunakan akurasi vertikal absolut. Akurasi dihitung dengan membandingkan nilai elevasi titik sampel DTM LiDAR dengan ICP GNSS. Selisih elevasi ini menghasilkan kesalahan vertikal, yang kemudian dihitung sebagai *Root Mean Square Error* (RMSE) (Hermawan dkk., 2021). Adapun nilai RMSE didapatkan dari persamaan (2) sebagai berikut.

$$\text{RMSE Vertikal} = \sqrt{\frac{\sum(Z_{\text{data}} - Z_{\text{cek}})^2}{n}} \quad (2)$$

Dalam hal ini, Z_{data} : data nilai koordinat z pada titik ICP DTM LiDAR, Z_{cek} : data nilai koordinat z pada titik ICP hasil pengukuran GNSS, n : banyak ukuran yang digunakan atau jumlah titik ICP.

Nilai RMSE Vertikal yang didapatkan kemudian digunakan untuk menghitung nilai *Linier Error*. Kemudian nilai *Linier Error* (LE) tersebut digunakan sebagai acuan untuk dikelompokkan sesuai klasifikasi pada ASPRS (*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*) tahun 2014. Berdasarkan ASPRS tahun 2014 Nilai LE diperoleh dari perhitungan RMSE dikalikan dengan koefisien korelasi.

Tabel 1. Klasifikasi Skala Peta ASPRS Tahun 2014 (Latifa dkk., 2021)

Kelas Akurasi Vertikal	Akurasi Absolut		Skala peta
	Nilai Selang Kepercayaan LE95% (cm)	RMSEz (cm)	
8,33	≤ 16,33	≤ 4,165	1 : 500
16,67	≤ 32,67	≤ 8,335	1 : 1.000
33,33	≤ 65,33	≤ 16,665	1 : 2.000
83,33	≤ 163,33	≤ 41,665	1 : 5.000
166,67	≤ 326,67	≤ 83,335	1 : 10.000
8,33	≤ 16,33	≤ 4,165	1 : 500
16,67	≤ 32,67	≤ 8,335	1 : 1.000

Pada Tabel 1 ditunjukkan bahwa klasifikasi skala peta berdasarkan ketentuan ASPRS Tahun 2014. Pada ASPRS tahun 2014 menggunakan selang kepercayaan sebesar 95%, sehingga nilai LE dihasilkan dari nilai RMSE dikalikan dengan koefisien korelasi sebesar 1,96 yang dituliskan dalam persamaan (3) berikut (Latifa dkk., 2021).

$$LE_{95} = \text{RMSE}_{\text{Vertikal}} \times C_{LE} \quad (3)$$

Dalam hal ini, $\text{RMSE}_{\text{Vertikal}}$: *Root Mean Square Error Vertikal* pada DTM LiDAR, C_{LE} : Konstanta Pengali *Linier Error* (1,96).

1.8.2. Uji Akurasi Visual Model

Uji akurasi visual model digunakan untuk mengevaluasi hasil pemodelan 3D bangunan berdasarkan tingkat LOD terhadap bentuk aslinya. Evaluasi ini melibatkan perbandingan antara model 3D dan foto udara untuk tiga bangunan yang dimodelkan. Pengujian ini fokus pada bentuk atap yang dihasilkan dari pemodelan 3D. Akurasi visual dievaluasi menggunakan tiga parameter utama: *completeness*, *correctness*, dan *quality*, dengan standar akurasi minimal 85%. Persamaan untuk menghitung parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada persamaan (4), (5) dan (6) berikut (Zheng dkk., 2017).

$$\text{Completeness} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (4)$$

$$Correctness = \frac{TP}{TP+FP} \quad (5)$$

$$Quality = \frac{TP}{TP+FN+FP} \quad (6)$$

Dalam hal ini, TP (*True Positive*) adalah objek yang terdeteksi baik pada hasil model maupun di lapangan. FP (*False Positive*) adalah objek yang terdeteksi dalam hasil model tetapi tidak ada di lapangan. Sedangkan FN (*False Negative*) adalah objek yang ada di lapangan tetapi tidak terdeteksi dalam hasil model.

1.8.3. Uji Akurasi Geometri Model 3D

Uji akurasi geometri model 3D adalah proses untuk mengevaluasi seberapa tepat dan akurat model 3D merepresentasikan bentuk dan ukuran objek aslinya. Parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas geometri meliputi ukuran sisi dan tinggi bangunan. Evaluasi ketelitian ukuran bangunan menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE), yang mengukur seberapa besar perbedaan antara nilai hasil pemodelan dengan nilai sebenarnya. RMSE menghitung akar dari jumlah kuadrat kesalahan untuk menentukan tingkat ketepatan model dapat dilihat pada persamaan (7) (Hajar dkk., 2017).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(d - di)^2}{n}} \quad (7)$$

Dalam hal ini, d : nilai yang dianggap benar, di : nilai hasil ukuran dari pemodelan 3D dan n : jumlah ukuran yang digunakan.

2. Data

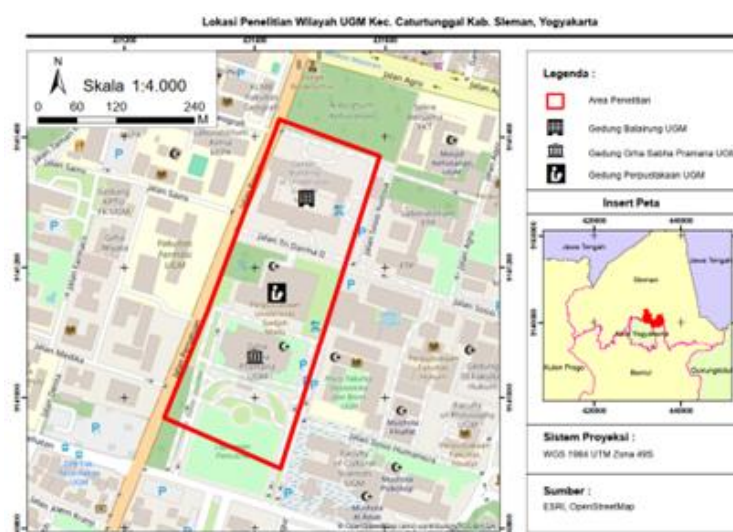
2.1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam kegiatan analisis ketelitian data *Airborne* LiDAR dalam pemodelan tiga dimensi bangunan gedung ini meliputi :

1. Data LiDAR dalam format .las gedung Grha Sabha Pramana, gedung Perpustakaan pusat, dan Gedung Balairung UGM hasil akuisisi oleh PT. Geo Survey Persada Indonesia pada Desember 2022.
2. Data koordinat X,Y,Z *Independent Check Point* (ICP) dengan format .xlsx berjumlah 6 titik hasil akuisisi menggunakan GNSS oleh PT. Geo Survey Persada Indonesia pada Desember 2022.
3. Data foto udara gedung Grha Sabha Pramana, gedung Perpustakaan, dan gedung Balairung UGM yang hasil akuisisi oleh PT. Geo Survey Persada Indonesia pada Desember 2022.
4. Data ukuran tinggi bangunan gedung Grha Sabha Pramana, Perpustakaan, Dan gedung Balairung UGM hasil pengukuran menggunakan Total Station *Reflectorless* pada January 2024.

2.2. Lokasi Penelitian

Kegiatan ini dilakukan di area Grha Sabha Pramana Universitas Gadjah Mada dan sekitarnya. Pada lokasi tersebut memiliki tinggi dan bentuk bangunan yang bervariasi sehingga dapat merepresentasikan permasalahan yang diambil dalam kegiatan ini. Kegiatan ini mencakup gedung Grha Sabha Pramana, gedung Perpustakaan, dan gedung Balairung UGM.



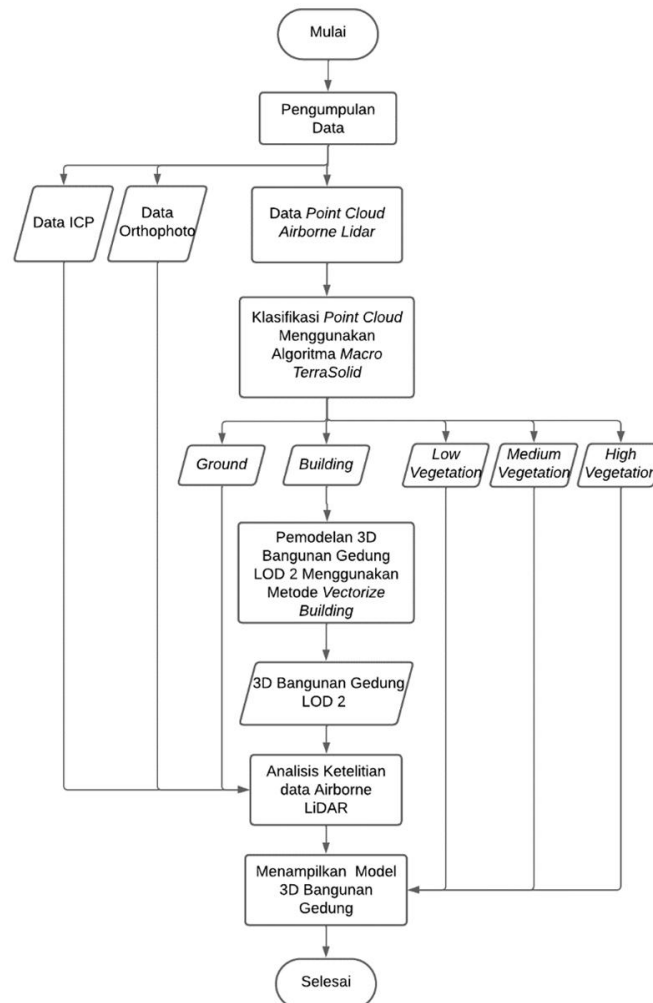
Gambar 2. Lokasi Penelitian.

2.3. Alat Pendukung

1. Laptop Lenovo Y7000 SE yang digunakan sebagai alat pengolah data dan pembuat laporan.
2. Total Station *Reflectorless* untuk pengukuran langsung tinggi bangunan gedung.
3. Perangkat lunak *Microstation connect* yang digunakan sebagai pengolah data *point cloud* dari *Airborne* LiDAR untuk klasifikasi dan pemodelan 3D.
4. Perangkat lunak *Global Mapper* yang digunakan untuk identifikasi ICP.
5. Perangkat lunak *Microsoft Excel* yang digunakan sebagai perhitungan ketelitian.
6. Perangkat lunak *Microsoft Word* digunakan untuk pembuatan laporan.

3. Metodologi

3.1. Diagram Alir Pelaksanaan



Gambar 3. Diagram alir pelaksanaan.

Pada tahapan diagram alir pelaksanaan berupa melakukan pengumpulan data seperti *point cloud Airborne* LiDAR, data ICP, dan data *Orthophoto*. Selanjutnya melakukan klasifikasi data *point cloud* dengan menggunakan algoritma *macro terrasolid*, selanjutnya melakukan pemodelan 3D bangunan gedung pada tingkat LOD 2 dengan metode *vectorize building*. Kemudian melakukan uji akurasi dengan uji vertikal *point cloud*, uji ketelitian visual model dan uji geometri 3D hasil pemodelan. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

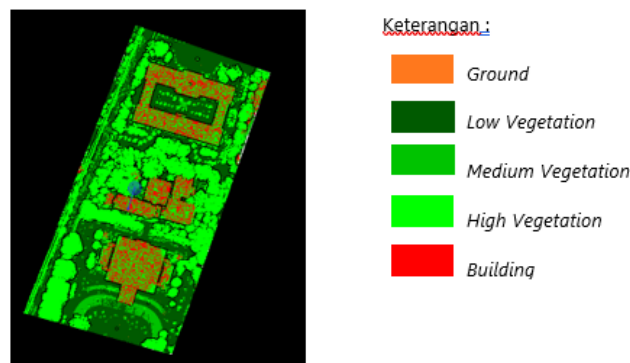
Data *point cloud* dilakukan klasifikasi otomatis menggunakan algoritma *macro terrasolid* dengan perangkat lunak *Microstation*. Proses klasifikasi otomatis yang dilakukan pada penelitian ini yaitu kelas *ground*, *low vegetation*, *medium vegetation*, *high vegetation*, dan kelas *building*. Setelah dilakukan klasifikasi otomatis perlu dilakukan klasifikasi manual dengan cara menampilkan *point cloud* dengan penampang melintang. Apabila terdapat *point cloud* yang tidak sesuai dengan kelasnya, maka dilakukan klasifikasi manual untuk memindahkan *point cloud* tersebut sesuai dengan kelas yang seharusnya. Hasil melakukan klasifikasi *point cloud* pada kelas *building* dilakukan pemodelan 3D

bangunan gedung secara otomatis dengan menggunakan metode *vectorize building*. Hasil dari pemodelan 3D menggunakan metode *vectorize building* perlu dilakukan editing manual terhadap data 3D model yang direpresentasikan dengan wireframe yang dihasilkan agar memiliki kesesuaian dengan *point cloud* kelas *building*. Editing dilakukan dengan menggunakan metode *need to check* pada perangkat lunak *Microstation*. Hasil kesesuaian tersebut selanjutnya dilakukan validasi sehingga menghasilkan model solid 3D. Hasil model solid tiga dimensi tersebut dilakukan uji akurasi untuk mengetahui kesesuaian hasil model terhadap geometri *eksisting* di lapangan. Uji yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu membandingkan data *Airborne LiDAR* dengan data lapangan. Adapun uji yang dilakukan yaitu uji ketelitian vertikal *point cloud*, uji ketelitian visual model dan uji geometri 3D hasil pemodelan.

4. Hasil

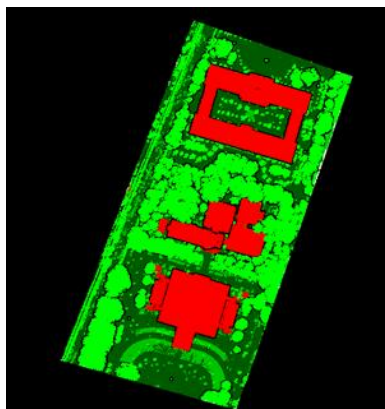
4.1. Hasil klasifikasi *Point Cloud*

Hasil klasifikasi yang dilakukan berdasarkan sifat, karakteristik, dan persebarannya dengan algoritma *macro terrasolid* menghasilkan beberapa kelas *point cloud*. Kelas-kelas tersebut antara lain yaitu kelas *ground*, *low vegetation*, *medium vegetation*, *high vegetation*, dan kelas *building*. Adapun hasil klasifikasi otomatis dapat dilihat pada Gambar 4.



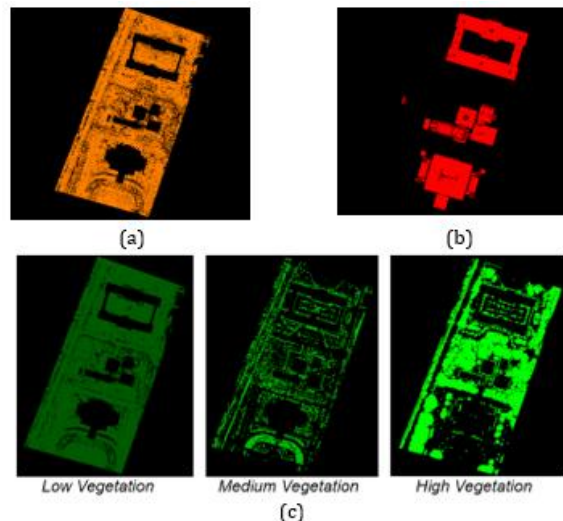
Gambar 4. *Point cloud* hasil klasifikasi otomatis.

Dapat dilihat pada Gambar 4 masih ditemukan *point cloud* yang tidak sepenuhnya sesuai dengan kelasnya. Dari 69.170.937 *point cloud* yang dilakukan klasifikasi terdapat 15.483.977 poin yang tidak sesuai dengan kelasnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan klasifikasi manual untuk memindahkan *point cloud* agar sesuai dengan kelasnya. Pada klasifikasi manual diperlukan data *orthophoto* untuk membantu dalam pengecekan objek. Hasil klasifikasi manual dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Visualisasi hasil klasifikasi *point cloud*.

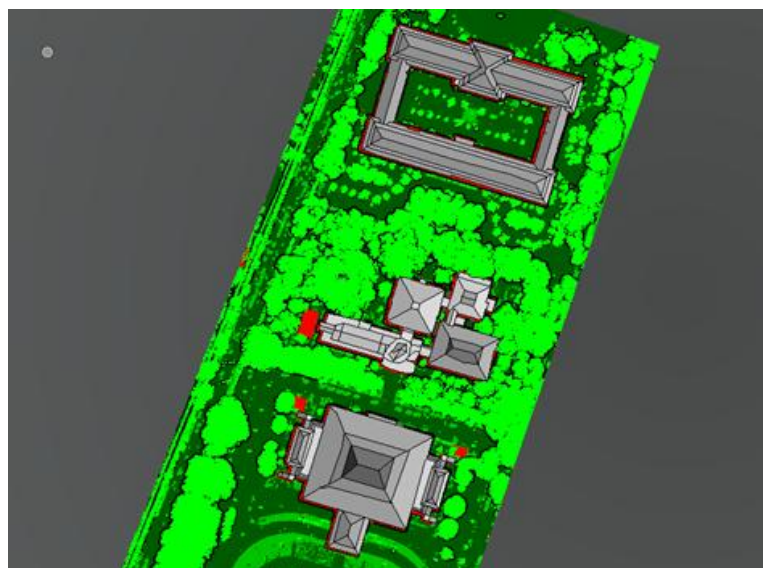
Pada Gambar 5 menunjukkan hasil klasifikasi *point cloud* secara menyeluruh. Hasil tersebut telah memiliki informasi yang sesuai berdasarkan kelas pada setiap objeknya. Kelas *ground*, yang ditunjukkan pada Gambar 6 (a) menyajikan titik-titik yang terletak pada permukaan bumi (tidak mencakup struktur bangunan, vegetasi, atau objek vertikal lainnya). Kelas *vegetation*, yang ditunjukkan pada Gambar 6 (c) menyajikan hasil klasifikasi yang terdiri dari tiga kelas (*low vegetation*, *medium vegetation*, dan *high vegetation*). Kelas *building*, yang ditunjukkan pada Gambar 6 (b) menyajikan *point cloud* yang akan digunakan untuk pemodelan 3D bangunan gedung.



Gambar 6. Tampilan *Point Cloud* setiap kelas, (a) kelas *ground* (b) kelas *building*, (c) kelas *vegetation*.

4.2. Hasil Pemodelan Otomatis 3D Bangunan Gedung

Hasil pemodelan yang dilakukan secara otomatis dengan metode *vectorize building* menggunakan *point cloud* dari hasil klasifikasi kelas *building* yaitu pada atap bangunan menghasilkan model 3D solid dengan tingkat kedetilan LOD 2. Karena data dihasilkan dari *Airborne* lidar berupa *point cloud* yang hanya mencakup atap bangunan. *Point cloud* dari kelas *building* akan didigitasi otomatis menggunakan algoritma *vectorize building* untuk membentuk model 3D yang dapat dilihat pada Gambar 7.



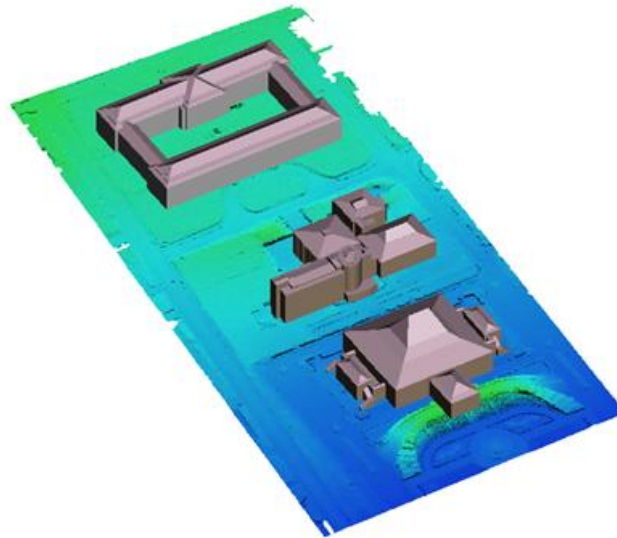
Gambar 7. Hasil otomatisasi pemodelan 3D metode *vectorize building*.

Gambar 7 menunjukkan hasil otomatisasi dari proses pemodelan 3D bangunan gedung. Model 3D yang dihasilkan dengan metode *vectorize building* direpresentasikan dengan model *solid*. Hasil yang didapatkan masih terdapat objek atau model belum terbentuk sesuai dengan bangunan sebenarnya. Kesalahan ini dikarenakan metode *vectorize building* memiliki algoritma yang sederhana. Dengan demikian objek yang berbentuk rumit tidak termodelkan dengan sempurna. Perlu dilakukan pengeditan manual pada model 3D agar sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Proses ini menggunakan metode *need to check*, yang menampilkan hasil pemodelan dalam bentuk *wireframe* 3D untuk memudahkan pengeditan. Pengeditan dilakukan dengan menggeser sisi-sisi atap bangunan untuk mendapatkan model yang presisi.

4.3. Hasil Pemodelan 3D Bangunan Gedung

Hasil model 3D bangunan gedung yang telah diedit secara manual menjadi sesuai dengan kondisi asli di lapangan. Model ini memiliki kedetilan *Level of Detail (LOD) 2*, di mana struktur atapnya mirip dengan aslinya. Pada model 3D dengan tingkat LOD 2 yang dihasilkan menggunakan metode *vectorize building* yaitu pada sisi samping bangunan memiliki fasad datar dan tegak lurus terhadap atap. Hal

ini terjadi karena *point cloud* dari *Airborne LiDAR* tidak mencakup area samping bangunan, sehingga detail pada sisi samping tidak terekam dengan baik. Oleh karena itu, model 3D lebih akurat pada bagian atap dibandingkan fasad samping. Adapun visualisasi hasil model 3D bangunan gedung dapat dilihat pada Gambar 7.

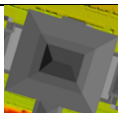
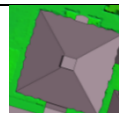
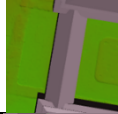





Gambar 8. Hasil Model solid 3D bangunan gedung tampak atas.

4.4. Hasil Pemodelan Jenis Atap

Hasil pemodelan solid 3D bangunan gedung Balairung, Perpustakaan dan Grha Sabha Pramana UGM menghasilkan berbagai bentuk atap. Bentuk atap yang dihasilkan dari pemodelan tiga dimensi antara lain bentuk limas (*hip*), pelana (*gable*), datar (*flat*), mansard, dan bentuk tidak beraturan.

Tabel 2. Sampel hasil model bentuk atap

Jenis Atap	3D Model Atap	Jenis Atap	3d Model Atap
Limas (<i>Hip</i>)		Mansard	
Pelana (<i>Gable</i>)		Miring (<i>Shed</i>)	
Datar (<i>Flat</i>)		Tidak beraturan	

Tabel 2 menunjukkan beragam sampel model atap yang dihasilkan dari metode *vectorize building*. Setiap atap menampilkan tingkat kompleksitas yang cukup signifikan, baik dalam bentuk maupun struktur. Dari pemodelan tiga dimensi bangunan gedung Balairung, Perpustakaan dan Grha Sabha Pramana UGM dihasilkan beberapa jumlah tiap jenisnya yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Jumlah tiap model atap

Jenis Atap	Jumlah
Datar (<i>flat</i>)	6
Mansard	1
Limas (<i>Hip</i>)	7
Limas Berpotongan	1
Pelana (<i>Gable</i>)	10
Tidak beraturan	1

Berdasarkan Tabel 3 dapat dijelaskan bahwa jenis atap dengan bentuk pelana (*gable*) memiliki model terbanyak pada hasil 3D. Dari hasil pemodelan, dapat disimpulkan bahwa data *point cloud Airborne LiDAR* memiliki persebaran yang baik. Hal ini terlihat dari model atap yang dihasilkan dengan kompleksitas tinggi, menunjukkan kerapatan *point cloud* yang memadai. Pada bagian atap yang rumit atau sedikit tertutup vegetasi, *point cloud* masih dapat termodelkan. Oleh karena itu, pemodelan 3D

bangunan menggunakan metode *vectorize building* dengan LOD2 berhasil menghasilkan bentuk yang akurat.

4.5. Hasil Uji Akurasi

Untuk mengetahui ketelitian data *Airborne LiDAR* dalam pemodelan 3D bangunan gedung perlu dilakukan beberapa uji akurasi. Adapun uji akurasi yang dilakukan yaitu uji akurasi vertikal *point cloud*, uji akurasi visual model, dan uji akurasi geometri.

4.5.1. Uji akurasi Vertikal *Point Cloud*

Uji akurasi vertikal *point cloud* dilakukan dengan membandingkan nilai Z DTM dengan nilai Z ICP hasil pengukuran menggunakan GNSS. Adapun hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji akurasi vertikal *point cloud*

ID	X (m)	Y (m)	Z DTM (m)	Z ICP (m)	ΔZ	d^2
ICP 1	431431,241	9140963,062	161,110	161,208	0,098	0,009604
ICP 2	431428,351	9141119,931	162,060	162,049	-0,011	0,000121
ICP 3	431322,311	9141063,451	160,810	160,726	-0,084	0,007056
ICP 4	431496,871	9141180,772	162,100	162,129	0,029	0,000841
ICP 5	431533,449	9141361,093	164,232	164,209	-0,023	0,000529
ICP 6	431379,447	9141256,861	163,253	163,059	-0,194	0,037636
Jumlah						0,055787
RMSE						0,096425
Akurasi LE95						0,188994

Berdasarkan Tabel 4 hasil perhitungan uji akurasi vertikal *point cloud* menunjukkan perbedaan antara elevasi dari *Digital Terrain Model* (DTM) dan data *Independent Control Point* (ICP) yang diukur menggunakan GNSS. Selisih elevasi berkisar antara 1,1 cm hingga 19,4 cm, menghasilkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 9,64 cm, yang mencerminkan tingkat kesalahan rata-rata antara elevasi DTM dan ICP. Nilai RMSE ini kemudian dikalikan dengan konstanta 1,96 untuk mendapatkan nilai LE95 sebesar 0,188994. Berdasarkan standar ASPRS 2014, nilai LE95 ini masuk dalam ketelitian vertikal kelas 16,67 cm pada skala peta 1:1.000.

4.5.2. Uji Akurasi Visual Model

Uji akurasi visual model dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana hasil pemodelan 3D sesuai dengan objek sebenarnya di lapangan, terutama bentuk atap dibandingkan dengan *orthophoto*. Uji ini menggunakan parameter *True Positive* (TP), *False Positive* (FP), dan *False Negative* (FN). Dari nilai TP, FP, dan FN, dihitung nilai *completeness* (kelengkapan), *correctness* (ketepatan), dan *quality* (kualitas). Uji yang dilakukan melibatkan keseluruhan hasil model. Adapun perhitungan uji akurasi visual model dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data perhitungan uji akurasi visual model

No.	Gedung	Tipe Atap	TP	FP	FN	Comp (%)	Corr (%)	Qual (%)
1.	Balairung	Limas, Pelana	58	0	0	100	100	100
2.	Perpustakaan Gd. 1	Pelana, Datar, Tidak Beraturan	23	3	1	96	88,462	85,185
3.	Perpustakaan Gd. 2	Limas	8	0	0	100	100	100
4.	Perpustakaan Gd. 3	Mansard	6	0	0	100	100	100
5.	Perpustakaan Gd. 4	Limas	11	0	1	92	100	92
6.	Grha Sabha Pramana	Limas, Pelana	52	1	0	100	98	98
Rata-rata			97,918	97,763	95,828			

*keterangan: Comp (*completeness*), Corr (*Correctness*), Qual (*quality*).

Berdasarkan Tabel 5 menunjukkan hasil uji akurasi visual pada model 3D bangunan menunjukkan nilai *completeness* 97,918%, *correctness* 97,763%, dan *quality* 95,828% untuk enam bangunan. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa uji akurasi diterima, karena melebihi nilai minimal yang diharapkan yaitu 85%. Terdapatnya kesalahan dalam pemodelan objek karena algoritma *vectorize building* menggunakan tingkat LOD rendah, menyebabkan perbedaan bentuk atap pada model 3D. Beberapa objek dari *point cloud* tidak terbaca sempurna oleh algoritma, sehingga objek tersebut tidak dimodelkan. Algoritma ini juga mendeteksi atap bangunan kompleks yang tidak ada di lapangan, menyebabkan pembentukan model atap baru yang tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya.

4.5.3. Uji Akurasi Geometri Model Solid 3D

Uji akurasi geometri dilakukan dengan membandingkan model 3D bangunan hasil metode *vectorize building* dengan ukuran asli di lapangan. Ukuran asli di lapangan diperoleh dengan pengukuran Total Station Reflectorless. Dari enam bangunan yang dimodelkan digunakan 15 sampel dari berbagai sisi untuk uji akurasi. Dari 15 sampel yang digunakan, 8 sampel adalah ukuran tinggi bangunan, dan 7 sampel adalah panjang atau lebar bangunan. Adapun data uji geometri dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Data perhitungan uji akurasi geometri

Ukuran	Sampel ke-n	Ukuran pada 3D Bangunan Gedung (m)	Ukuran asli di lapangan (m)	Selisih/Deviasi (D) (m)	Deviasi Kuadrat (D ²) (m)
Tinggi	1	15,8077	15,323	0,4849	0,235128
	2	15,8031	15,328	0,4751	0,230688
	3	23,1270	22,630	0,4966	0,246612
	4	28,1960	27,518	0,6778	0,459413
	5	17,3983	17,409	0,0111	0,000123
	6	13,2500	13,760	0,5096	0,259692
	7	17,8941	17,773	0,1214	0,014738
	8	17,8491	17,781	0,0681	0,005837
Panjang/Lebar	9	21,6917	21,665	0,0266	0,000709
	10	26,4506	26,393	0,0573	0,003288
	11	71,7522	71,781	0,0292	0,000855
	12	41,2969	41,371	0,0742	0,005510
	13	128,6470	128,695	0,0477	0,002273
	14	29,3902	29,439	0,0485	0,002351
	15	40,0350	40,021	0,0142	0,000202

Berdasarkan data perhitungan uji akurasi geometri yang tertuang pada Tabel 6 akan dilakukan perhitungan nilai RMSE dengan mengacu pada persamaan (7). Perhitungan RMSE uji akurasi geometri dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Hasil Perhitungan RMSE Uji Akurasi Geometri

Total D ²	1,467 m
Rata-rata Selisih	0,209 m
Selisih Minimum	0,011 m
Selisih Maksimum	0,677 m
RMSE	0,312 m
Total D ²	1,467 m
Rata-rata Selisih	0,209 m

Hasil perhitungan RMSE dari 15 sampel uji geometri menunjukkan bahwa ketelitian data *Airborne LiDAR* dalam pemodelan 3D bangunan gedung memiliki RMSE sebesar 0,3128 m. Perbedaan terbesar antara data ukuran sampel lapangan dan hasil pemodelan 3D dengan metode *vectorize building* adalah 0,6778 m, dan perbedaan terkecil adalah 0,111 m. Menurut *Open Geospatial Consortium* (OGC) pada tahun 2012, ketelitian maksimal untuk LOD2 adalah kurang dari 2 m. Oleh karena itu, nilai RMSE 0,3128 m dalam penelitian ini masih berada dalam batas toleransi LOD2.

Perbedaan antara data hasil model 3D dan ukuran langsung di lapangan disebabkan oleh algoritma metode *vectorize building* yang menggunakan *point cloud* kelas *ground* paling rendah sebagai dasar model 3D bangunan dan membentuknya secara tegak lurus. Akan tetapi, data *point cloud* kelas *ground* yang tersebar pada area penelitian tidak sama rata dengan *ground* pada dasar bangunan yang sebenarnya. Hal ini menyebabkan model 3D bangunan yang terbentuk berada lebih rendah dibandingkan dengan *point cloud* kelas *ground*.

5. Kesimpulan

Data *point cloud Airborne LiDAR* yang telah diklasifikasikan menjadi 5 kelas dapat digunakan untuk pemodelan 3D bangunan gedung dengan tingkat ketelitian LOD 2 menggunakan metode *vectorize building* pada perangkat lunak *Microstation*. Pemodelan ini memanfaatkan *point cloud* kelas *building*, namun memerlukan *editing* manual pada bangunan dengan bentuk atap kompleks. Ketelitian data *Airborne LiDAR* untuk pemodelan 3D bangunan menunjukkan akurasi vertikal *point cloud* dengan nilai RMSE 9,64 cm dan nilai LE95 sebesar 0,188994. Uji visual model menghasilkan nilai *Completeness* sebesar 97,918%, *Correctness* sebesar 97,763%, dan *Quality* sebesar 95,828%, yang semuanya berada di atas toleransi > 85%. Uji geometri model dari hasil pemodelan 3D bangunan gedung dengan metode *vectorize building* menunjukkan nilai 0,3128 m, masih dalam toleransi LOD 2 < 2 m.

6. Acknowledgment

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Geo Survey Persada Indonesia karena telah mengizinkan penulis menggunakan data *point cloud*, ICP, dan *Orthophoto* untuk kegiatan penelitian ini.

7. Daftar Pustaka

- Asharyanto, H., Soeksmantono, B., & Wikantika, K. (2015). Three dimensional city building modelling with LiDAR data (case study: Ciwaruga, Bandung). ACRS 2015 - 36th Asian Conference on Remote Sensing: Fostering Resilient Growth in Asia, Proceedings, September.
- Atmaja, A. A., Prasetyo, Y., & Hani' ah. (2016). Deteksi Objek Berbahaya dan Pemodelan 3D Jaringan Kelistrikan Menggunakan Teknologi LIDAR. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(1), 57–67.
- Batara, Y. D. (2011). Pembuatan Model Tiga Dimensi (3D) Sistem Informasi Geografis (Sig) Untuk Visualisasi. *Jurnal POROS TEKNIK*, 4(1), 14–18.
- Biljecki, F., Ledoux, H., & Stoter, J. (2016). An improved LOD specification for 3D building models. *Computers, Environment and Urban Systems*, 59, 25–37. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.005>
- Firdaus, Z. M., Handayani, H. H., & Hidayat, H. (2020). Pemanfaatan Data LiDAR dan Foto Udara untuk Pemodelan Kota Tiga Dimensi (Studi Kasus: Wilayah Surabaya Barat) Utilization of LiDAR Data and Aerial Photos for Three-Dimensional City Modeling (Case Study: West Surabaya Region). 16(1), 80–92.
- Hajar, A., Putra Wijaya, A., & Bashit, N. (2017). Pemanfaatan Lidar Untuk Evaluasi Ketinggian Bangunan Di Kawasan Jalan Pandanaran, Semarang. *Jurnal Geodesi Undip* Oktober, 6(4), 361–370. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/18165>
- Hariyono, M. I., & Windiastuti, R. (2018). Classification of LiDAR Data to Generate Digital Terrain Model. The 39th Asian Conference on Remote Sensing, December, 1743–1754.
- Hermawan, I., Nugroho, D., Suhendra, I., Wiranata, H., Karim, R. W. T., Astuti, A. W., Silaen, B., Wicaksono, D. E., Vice, E., Divisi, P., Jalan, P., Perencanaan, D., Tol, J., Jatinegara, K., Timur, K. J., Tol, J., & Sumatera, T. (2021). Pemanfaatan Teknologi Uav Lidar Untuk Percepatan Penyediaan Data Topografi Skala Besar Pada Tahap Readiness Criteria Jalan Tol Trans Sumatera. 1, 340–345.
- Julian, H. D., & Harintaka. (2019). Otomatis Menggunakan Data Ortofoto Dan LiDAR Di Kota Pontianak. *Jurnal Geodesi dan Geomatika*, 02(02), 85–91.
- Kholifah, A. N. U. R. (2022). Ekstraksi Bangunan Pada Data Foto Udara Dan Data Lidar Menggunakan Metode Object Based Image Analysis (Obia) Studi Kasus : Grha Sabha Pramana Dan Sekitarnya Lidar Menggunakan Metode Object Based Image Analysis (OBIA) Studi Kasus : Grha Sabha Pramana d.
- Latifa, D. P., Nurtyawan, R., Nuha, M. U., & Eng, M. (2021). Analisis Perbandingan Ketelitian Vertikal DTM (Digital Terrain Model) dari Foto Udara dan LiDAR (Light Detection And Ranging) (Wilayah Studi: Sungai Gelam Timur Jambi). *Repo.ltera.Ac.Id*. <https://doi.org/10.35472/x0xx0000>
- NOAA. (2012). Lidar 101 : An Introduction to Lidar Technology , Data , and Applications. NOAA Coastal Services Center, November, 76.
- Noviana, E. D., Sunaryo, D. K., & Noraini, A. (2017). Pembuatan Visualisasi 3D City Model dengan Memanfaatkan Data LiDAR (Studi Kasus : Stasiun Gambir – Stasiun Gondangdia, Jakarta Pusat). 6.
- Nugroho, H., & Puspasari, F. (2018). Analisis Pemanfaatan Dan Ketelitian Lidar Menggunakan Wahana Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Indonesian ...*, XX(X), 1–15. <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=874148&val=7387&title=Analisis Pemanfaatan Dan Ketelitian Lidar Menggunakan Wahana Unmanned Aerial Vehicle UAV>
- Salolahti, M. (2010). Advanced Use of Lidar Data - Automatic Building Vectorization and Contour Production. The XXIV FIG International Congress 2010 “Facing the Challenges - Building the Capacity,” April 2010, 11–16.
- Sari, D. R. (2016). Analisa Geometrik 3D True Orthophoto Data LiDAR. 4(1), 2–5.
- Suwardhi, D., Mukhlisin, M., Darmawan, D., Trisyanti, S. W., Brahmantara, B., & Suhartono, Y. (2016). Survey dan Pemodelan 3D (Tiga Dimensi) untuk Dokumentasi Digital Candi Borobudur. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya*, 10(2), 10–22. <https://doi.org/10.33374/jurnalkonservasicagarbudaya.v10i2.150>
- Trikusuma, F., Prasetyo, Y., & Hadi, F. (2021). Pemodelan 3 9Tiga) Dimensi Bangunan Menggunakan Foto Udara Format Kecil (Studi Kasus: Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro). *Jurnal Geodesi Undip*, 10(2), 1–10.
- Zheng, Y., Weng, Q., & Zheng, Y. (2017). A hybrid approach for three-dimensional building reconstruction in indianapolis from LiDAR data. *Remote Sensing*, 9(4), 1–24. <https://doi.org/10.3390/rs9040310>