

## Pembuatan Model 3D Bangunan LoD3 Dengan Pemanfaatan Foto Udara dan Fotogrametri Terrestri

*Making 3D Building Models of LoD3 Using Aerial Photography and Terrestrial Photogrammetry*

Muh Apriansyah\*, Harintaka

Magister Teknik Geomatika, FT-UGM Departemen Teknik Geodesi, Yogyakarta, 55281, Indonesia

\*Korespondensi penulis: muh.apriansyah01@gmail.com

Diterima: 26102022; Diperbaiki: 29012023; Disetujui: 31012023; Dipublikasi: 28022023

**Abstrak:** Foto udara maupun fotogrametri terrestri yang merupakan teknologi dari fotogrametri dapat digunakan untuk pemodelan 3D. Untuk menampilkan sebuah informasi secara visual yang mengutamakan nilai estetika dan bentuk objeknya. Fotogrametri telah lama digunakan untuk dokumentasi bangunan dan benda cagar budaya. Teknik ini memungkinkan untuk membuat model 3D dari foto 2D, dan dengan demikian sangat berguna dalam visualisasi detail arsitektur suatu bangunan atau gedung. Pada penelitian ini, dilakukan pemodelan bangunan 3D di wilayah Asrama Putri Ratnaningsih Kinanti Universitas Gadjah Mada menggunakan metode kombinasi foto udara dan fotogrametri terrestri dengan memanfaatkan teknologi SfM (*structure from motion*). *Point cloud* diperoleh dari pengolahan foto udara dan fotogrametri terrestri. Kamera yang terpasang pada wahana udara yang digunakan untuk mengakuisisi data foto memungkinkan untuk mengakuisisi bagian bangunan seperti atap dan detail bangunan atau bagian gedung yang tidak memungkinkan menggunakan fotogrametri terrestri. *Point cloud* yang diperoleh dari hasil pengolahan SfM digunakan untuk melakukan pemodelan 3D dengan melakukan digitasi manual setiap elemen bangunan seperti jendela, pintu, lorong dan elemen bangunan lainya sesuai batasan tepi pada *point cloud*. Model 3D bangunan yang berhasil dimodelkan dari 1201 foto dan 19 buah sebaran titik kontrol tanah, apabila dilihat secara visual serupa dengan model dan bentuk obyek yang sebenarnya. Fasad yang terbentuk dari pemodelan hampir mengikuti model aslinya seperti pintu, jendela, lorong, dan teralis dapat terlihat pada model 3D. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini memberikan hasil yang baik. Model 3D yang dihasilkan dari penelitian ini memiliki ketelitian posisi geometri sebesar 8,843 cm dan ketelitian tinggi (H) 5,377 cm, ketelitian dimensi sebesar 11,120 cm dengan kelengkapan semantik bangunan yang sesuai dengan bangunan aslinya. Proses pemodelan 3D secara otomatis menggunakan teknologi SfM (*Structure from Motion*) tersebut menghasilkan model bangunan 3D dalam *Level of Detail* (LoD) 3 dengan nilai *Root Mean Square Error* < 0,5 meter berdasarkan standar *City Geography Markup Language* (CityGML).

Copyright © 2023 Geoid, All rights reserved,

**Abstract:** Aerial photogrammetry and Terrestrial photogrammetry which are the technology of photogrammetry can be used for 3D modeling. To visually display information that prioritizes the aesthetic value and shape of the object, 3D modeling is considered very attractive as a tool used. Photogrammetry has long been used to document buildings and cultural heritage objects. This technique makes it possible to create 3D models from 2D photos, and thus is very useful in visualizing the architectural details of a building. In this research, 3D building modeling was carried out in the Ratnaningsih Kinanti Girls Dormitory area, Gadjah Mada University using a combination of aerial photography and terrestrial photogrammetry using SfM (*structure from motion*) technology. Point clouds are obtained from aerial photography and terrestrial photogrammetry. The camera installed on the aerial vehicle that is used to acquire photo data makes it possible to obtain parts of buildings such as roofs and details of buildings or buildings that are not possible using terrestrial photogrammetry. The point cloud obtained from SfM processing is used to perform 3D modeling by manually digitizing each building element such as windows, doors, hallways, and other building elements according to the edges of the point cloud. The 3D building model that has been successfully modeled from 1201 photographs and 19 distributed soil control points, when viewed is almost close to the model and shape of the actual object. The façade formed from the modeling almost follows the original model, such as doors, windows, hallways, and trellis can be seen in the 3D model. The method applied in this study gave good results. The 3D model produced from this study has a geometric position accuracy of 8,843 cm and a high accuracy (H) of 5,377 cm, an accuracy dimension of 11,120 cm with complete building semantics that match the original building. The 3D modeling process automatically using SfM (*Structure from Motion*) technology produces 3D building models in *Level of Detail* (LoD) 3 with a *Root Mean Square Error* value of <0.5 meters based on the *City Geography Markup Language* (CityGML) standard.

Kata kunci: Model 3D; Foto Udara; Foto Jarak dekat; LoD3; RMSE

---

Cara untuk sitasi: Apriansyah, M., Harintaka, (2023), Pembuatan Model 3D Bangunan LoD3 Dengan Pemanfaatan Foto Udara dan Fotogrametri Terrestri, *Geoid*, 18(2), 243-252.

---

## Pendahuluan

Saat ini pemodelan 3D *city* lebih terkonsentrasi pada representasi bangunan geometri, sedangkan benda bukan bangunan juga penting dalam proses pemodelan perkotaan, contoh objek tematik non-bangunan seperti terowongan, jembatan, vegetasi, furnitur, dan badan air. Model 3D vegetasi dalam 3D *city* diperlukan sebagai alat visualisasi dan analisis untuk berbagai bidang, serta desain dasar simulasi perkotaan, seperti untuk penghijauan kota, konservasi air, dan pencegahan banjir (Tjahjadi & Rifaan, 2019). Menurut standar internasional CityGML, sebuah model bangunan dapat dikategorikan menjadi empat tingkat detail dalam model kota: LoD1, LoD2, LoD3 dan LoD4 (Kolbe, 2016). Model bangunan LoD1 merupakan model balok yang terdiri dari bangunan yang berbentuk prisma dengan struktur atap yang datar. Model bangunan di LoD2 memiliki struktur atap yang berbeda dan permukaan batas yang dibedakan secara tematis. Model bangunan LoD3 berarti model tersebut memiliki detail struktur dinding dan atap termasuk pintu dan jendela. Model bangunan LoD4 menyempurnakan LoD3 dengan menambahkan struktur interior bangunan.

Fotogrametri telah lama digunakan untuk dokumentasi bangunan dan benda cagar budaya. Teknik ini memungkinkan ekstraksi informasi 3D dari foto 2D, dan dengan demikian sangat berguna dalam merekam detail arsitektur suatu bangunan atau gedung. Dengan adanya pengembangan algoritma SfM (*Structure from Motion*) yang sangat pesat, hal ini telah menjadi alternatif yang sangat baik untuk pemrosesan data 3D. Tujuan utama pengukuran fotogrametri adalah rekonstruksi tiga dimensi suatu objek dalam bentuk digital (koordinat dan elemen geometris turunan) atau bentuk grafik (foto, citra, peta). Foto atau gambar tersebut merupakan gudang informasi yang dapat diakses kembali setiap saat (Luhmann dkk., 2006),

Hampir semua pekerjaan rekonstruksi kontemporer model bangunan LoD3 menggunakan data *point cloud* didasarkan pada pendekatan berbasis kecerdasan buatan. Wang & Yan, (2016) mempresentasikan pendekatan berbasis kerangka pemodelan semantik untuk rekonstruksi model bangunan secara otomatis, yang memanfaatkan pengenalan fitur semantik dari data *point cloud* yang dihasilkan dari ekstraksi data foto udara dengan mengintegrasikan *point cloud* dari *terrestrial laser scanner* untuk menggambarkan model bangunan LoD3. Dalam penelitian ini akan memodelkan bangunan tinggi sebagai objek penelitian yang memungkinkan menggunakan 2 sumber data utama, solusinya dilakukan penggabungan data foto udara dengan fotogrametri terrestri. Foto udara digunakan untuk merekonstruksi model atap dan fasad bangunan yang tidak dapat terekam oleh fotogrametri terrestri, Sedangkan fotogrametri terrestri digunakan untuk mengakuisisi elemen *ground*/dasar pada bangunan yang tidak tampak jika diakuisisi menggunakan foto udara akibat beberapa faktor seperti tertutup pohon, fasad yang terhalang dari lebarnya bentuk atap dan beberapa faktor lain yang mempengaruhinya. Dalam pemodelan kota 3D, fotogrametri jarak dekat digunakan untuk menghasilkan fasad bangunan dan detail arsitektur yang diwakili oleh LOD3 dan LOD4 (Jebur, Abed, & Mohammed, 2017). Dalam penelitian ini metode yang digunakan yaitu dengan memanfaatkan keakuratan teknologi SfM (*Structure from Motion*), yang merupakan konsep pembentukan model 3D yang ditentukan oleh persamaan fitur dari beberapa foto, yang terakuisisi dari setiap sudut yang berbeda (Westoby dkk, 2012).

Penelitian pembuatan model 3D bangunan dilakukan oleh (Fadjrie dkk., 2018). Fadjrie dkk., (2018) melakukan penelitian dengan mengkombinasikan metode foto udara dan fotogrametri jarak dekat untuk memodelkan Gedung Teknik Geodesi Itenas kedalam bentuk 3D. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua jenis kamera yang berbeda, yaitu kamera DSLR dan kamera UAV. Akuisisi dengan kamera DSLR digunakan untuk memotret bagian bawah gedung. Dari hasil model 3D yang terbentuk dengan menggunakan 241 foto dan 11 sebaran GCP, terlihat bahwa fasad yang terbentuk memiliki kesamaan sesuai dengan bentuk asli bangunan, antara lain jendela, pintu, tangga, dan lampu pada dinding dapat dilihat pada bangunan yang telah dimodelkan,

tetapi model 3D yang terbentuk terdapat kekosongan (*hole*) yang terjadi pada saat proses editing model dimana objek penghalang yang terbentuk telah terfilter dan dihapus. Akurasi ketelitian yang diperoleh berdasarkan jumlah foto didapatkan nilai RMSE dengan jumlah GCP yang tersebar adalah 8,6 mm. Pada tahun 2020, Marvi, Tjahjadi, & Adkha, (2020) melakukan penelitian terhadap sebuah bendungan sebagai objek yang bertujuan untuk menggabungkan data hasil akuisisi kamera DSLR dengan UAV, kemudian menampilkan visualisasi dari model 3D serta melakukan analisis terkait ketelitian yang dihasilkan berdasarkan nilai RMSE. Penelitian ini menunjukkan pemanfaatan data fotogrametri jarak dekat dengan mengkombinasikan antara foto DSLR dengan UAV mendapatkan hasil yang sesuai dengan bentuk objek aslinya sehingga dapat digunakan untuk pemodelan 3D. Dari hasil perhitungan ketelitian model 3D kombinasi didapatkan nilai sebesar 0,007366m. Namun, secara visual terlihat beberapa kekosongan (*hole*) pada objek yang disebabkan adanya kekurangan data foto pada saat proses pengambilan data.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya yaitu pada penelitian ini akan memodelkan sebuah bangunan gedung lima lantai dengan bentuk elemen bangunan yang kompleks dan fokus terhadap nilai uji akurasi yang dihasilkan dalam aspek geometri, dimensi serta semantik dari objek yang dimodelkan. Pada penelitian ini kemudian akan mengkaji beberapa faktor yang mengakibatkan beberapa kekurangan dari penelitian terdahulu seperti hilangnya beberapa elemen gedung atau objek penelitian setelah dimodelkan dalam bentuk 3D. Oleh karena itu perlu dilakukan persiapan perencanaan yang efektif sebelum melakukan akuisisi data. Penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan data foto udara dengan fotogrametri jarak dekat untuk pemodelan bangunan 3D dalam tingkat LoD3 dan mengevaluasi kinerja foto udara dengan fotogrametri jarak dekat untuk pemodelan 3D loD3. Hasil dari penelitian ini diharapkan nantinya dapat memberikan informasi, berupa proses pemodelan 3D bangunan LoD3 terkait pemanfaatan metode foto udara dan fotogrametri jarak dekat yang diintegrasikan sehingga memiliki akurasi dan presisi yang baik setiap fitur bangunan.

## Data dan Metode

Lokasi penelitian ini dilakukan pada gedung asrama putri “Ratnaningsih Kinanti Universitas Gadjah Mada”, Yogyakarta. Lokasi ini dipilih sebagai objek penelitian dikarenakan terbuka, tidak tertutup vegetasi maupun terhalang bangunan dan objek lainya. Beberapa masalah yang terjadi pada penelitian terdahulu dikarenakan obyek penelitiannya menggunakan bangunan yang tertutup vegetasi sehingga mengurangi hasil pemodelanya, sehingga lokasi yang dipilih pada penelitian ini memudahkan pada saat melakukan akuisisi data foto dengan menggunakan UAV dan fotogrametri jarak dekat. Gambar 1 menunjukkan keadaan lokasi penelitian.



Gambar 1. Lokasi penelitian (Sumber: Google Earth, 2022)

Penelitian ini akan dilakukan dengan memanfaatkan 2 sumber data utama yaitu data foto udara dan fotogrametri terestris. Bahan penelitian yang dimaksud adalah data-data objek kajian penelitian yang meliputi kumpulan foto udara yang dikombinasikan dengan data fotogrametri terestris. Setelah diintegrasikan kemudian di ekstraksi dan dilakukan pemodelan 3D bangunan LoD3. Pemotretan yang digunakan dengan menggunakan metode foto udara menghasilkan foto sebanyak 753 foto dengan mengakuisisi setiap bagian bangunan, sedangkan pemotretan menggunakan fotogrametri terestris dengan menggunakan kamera *pocket* yaitu sebanyak 449 foto dengan mengakuisisi bagian bangunan di lantai 1 sampai dengan lantai 3. Gambar 2 merupakan data foto 2D hasil akuisisi lapangan.



Gambar 2. Data foto 2D (Sumber: Data lapangan)

Tahap pengolahan data pada penelitian ini meliputi:

1. Pengumpulan data

Tahap pra-pengolahan yaitu tahap penentuan area penelitian sebelum melakukan akuisisi data. Pada tahap pra pengolahan ini diawali melalui tahap pemilihan area atau bangunan, dengan menentukan area penelitian dimana difokuskan pada wilayah kawasan Asrama Putri Ratnaningsih Kinanti Universitas Gadjah Mada yang memiliki ciri bangunan gedung yang terbuka (tidak tertutup vegetasi) sehingga dirasa relevan untuk diteliti. Proses akuisisi data foto dengan menggunakan uav dan kamera *pocket* dilakukan secara terpisah. Kemudian dilakukan proses pengambilan data menggunakan uav untuk mengakuisisi data yang mencakup keseluruhan bagian dari gedung, mulai dari atap hingga lantai paling bawah. *Drone* yang digunakan kemudian diterbangkan pada ketinggian dan jarak yang dapat mengakuisisi keseluruhan bagian pada gedung tanpa menentukan titik-titik seperti yang dilakukan pada saat akuisisi dengan kamera *pocket*. Kemudian melakukan proses pengambilan data dengan mengakuisisi bagian gedung lantai 1, 2, dan 3 yang dapat terlihat dari lensa kamera dengan tetap memperhatikan *overlap* pada foto.

2. Akuisisi data GCP dan ICP

Pada proses kedua ini akan dilakukan pengukuran *Ground Control point* (GCP) dan *Independent Control Point* (ICP) yang digunakan sebagai titik ikat koordinat. Proses pemilihan titik dan jumlah titik yang tersebar pada area pemotretan harus mewakili setiap bagian pada gedung hingga kesalahan terkoreksi dengan baik. Pengukuran dilakukan 2 tahap dengan mengukur titik GCP dan ICP dengan menggunakan *Total Station*.

3. Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data, hal yang harus dilakukan pertama kali adalah memasukan foto ke dalam *software* Agisoft Metashape. Kemudian melakukan *Alignment Photos* yang akan diproses secara otomatis. Pada tahapan proses ini menggunakan metode SfM, Setelah melakukan *alignment photos*, tahapan selanjutnya adalah menginput data koordinat GCP yang diakuisisi dari pengukuran ETS *Reflectorless*, kemudian dilakukan proses *build dense cloud*. *Build dense cloud* merupakan proses untuk merapatkan hasil *sparse cloud* yang terbentuk dari proses *Align Photos*. Setelah *dense cloud*



terbentuk, kemudian tahapan proses selanjutnya adalah pembuatan *mesh* model 3D. Pada tahapan akhir pemrosesan terdapat *tools build texture*, yaitu tahapan akhir dalam proses pembuatan model 3D yang memiliki warna dan tekstur yang mendekati keadaan objek sebenarnya.

#### 4. *Outout Data*

*Output* data yang di hasilkan dari proses pengolahan bangunan 3D, merupakan bentuk LOD (*Level of Detail*) tingkat 3, Dimana tahapan ini meliputi pemodelan atap bangunan, seperti fasad, jendela, pintu dan dinding bangunan yang sesuai dengan model bangunan aslinya. Untuk memodelkan bangun 3D LoD3 pada penelitian ini dilakukan proses *Build Texture*. Tahapan ini merupakan proses *finishing* dengan menyempunakan bagian gedung yang bolong akibat dari proses filter *point cloud* secara manual serta memberikan tekstur dan warna pada model 3D agar dapat mendekati bentuk objek yang sebenarnya. Pada tahapan ini model 3D bangunan harus mencapai standar *cityGML* LoD 3.

#### 5. Evaluasi Model Bangunan 3D LoD3

Bangunan 3D LoD3 menunjukkan hasil pemodelan bangunan 3D dengan struktur dinding dan atap yang detail. Pada tahapan ini diperlukan untuk melakukan analisis uji akurasi geometri bangunan yang telah dimodelkan sebelumnya. Uji akurasi dibutuhkan untuk menganalisis tingkat ketelitian ukuran dimensi bangunan seperti panjang, lebar dan tinggi objek di lapangan dengan objek yang telah dimodelkan, serta membandingkan selisih titik-titik koordinat ICP bangunan dari hasil yang dimodelkan dengan ukuran aslinya di lapangan. Sehingga memenuhi standar pemodelan 3D LoD3 yang menggunakan acuan *CityGML* pada nilai *Root Mean Square Error* (RMSE). Nilai ketelitian model 3D berdasarkan *CityGML* menggunakan acuan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE), nilai RMSE yang dihasilkan pada model bangunan LOD 3 yaitu  $< 0,5$  m (Gröger dkk., 2008).

## Hasil dan Pembahasan

Kemudahan penggunaan SfM dengan berbagai sensor dapat memungkinkan peluang penginderaan yang bersifat *crowdsourced* yang partisipatif dan oportunistik, memfasilitasi keterlibatan sumber data yang bervariasi. Meskipun kemajuan algoritma dan perangkat lunak membuat penerapan fotogrametri SfM cukup sederhana dalam penggunaannya untuk rekonstruksi topografi, pengetahuan dasar tentang prinsip-prinsip fotogrametri masih diperlukan untuk penilaian akurasi yang kuat (Carbonneau & Dietrich, 2017; Eltner & Sofia, 2020). *Image quality* dianggap sangat penting karena fotogrametri SfM bergantung pada keberhasilan deteksi dan pencocokan fitur pada gambar, yang merupakan salah satu tugas utama fotogrametri (Gruen, 2012 didalam Eltner & Sofia, 2020).

### 1. Alignment Photos



Gambar 3. Hasil *Align Photos* (Sumber: Pemrosesan data)

Pada tahap proses pengolahan data, hal pertama yang dilakukan adalah dengan memasukan data foto yang dihasilkan dalam tahapan akuisisi data dengan menggunakan foto udara dan fotogrametri terestris kedalam *software Agisoft Metashape*. Pemotretan yang digunakan dengan menggunakan metode foto udara menghasilkan foto sebanyak 753 foto dengan mengakuisisi setiap bagian bangunan, sedangkan pemotretan

menggunakan fotogrametri jarak dekat dengan menggunakan kamera *pocket* yaitu sebanyak 449 foto dengan mengakuisisi bagian bangunan di lantai 1 sampai dengan lantai 3.

Setelah memasukan data foto kedalam *software Agisoft Metashape*, kemudian dilakukan proses *alignment photos* untuk mendapatkan nilai *bundle adjustment* data foto yang diakuisisi. Kemudian, tahapan proses selanjutnya dengan menginput koordinat GCP (*Ground Control Point*) yang diakuisisi dari pengukuran menggunakan *ETS Reflectorless*, hasilnya terdapat pada Gambar 3. Total GCP yang digunakan untuk melakukan pemodelan 3D pada penelitian ini adalah sebanyak 20 buah dan tersebar seperti yang terlihat pada Gambar 3 dimana titik-titik GCP tersebar ke seluruh bagian gedung yang diukur dengan menggunakan *Total station Reflectorless*.

## 2. Build Dense Cloud

Setelah melakukan proses *align photos*, tahapan berikutnya adalah melakukan proses *dense cloud* yaitu melakukan pencocokan foto sehingga menghasilkan sebuah obyek yang sesuai dengan obyek yang ada didalam foto. Proses pencocokan ini pada akhirnya akan menghasilkan titik-titik dalam jumlah besar yang pada umumnya disebut *point cloud*, Gambar 4 dibawah ini merupakan hasil dari *build dense cloud*.



Gambar 4. *Dense Cloud* (Sumber: Pemrosesan data)

Model *Dense cloud* yang dihasilkan dengan menggunakan metode *structure from motion* cukup baik, akan tetapi terdapat beberapa bagian dari dinding bangunan yang bolong. Pada tahapan ini dapat dilakukanya klasifikasi *point cloud* yang *noise* atau yang tidak di perlukan dengan memanfaatkan *tools filter by class* untuk memilih bagian yang ingin dipertahankan seperti bagian-bagian pada bangunan dan mengeliminasi *point cloud* yang tidak dibutuhkan dalam pemodelan seperti *vegetasi* dan *ground*, dan *tools filter by confident* yang digunakan untuk mereduksi *noise* pada sebaran *point cloud* yang dapat menyebabkan pemodelan tidak baik dan bengkok.

## 3. Build Mesh

Tahapan *Build Mesh*, yaitu merupakan proses rekonstruksi 3D dari data *point clouds* yang dihasilkan dari ekstraksi *dense cloud*. Tahapan ini merupakan proses mengikat kumpulan *tie points* yang belum tersusun atau tersebar acak-acakan, sehingga saling menutup (membentuk bidang permukaan). Model 3D dari hasil *build mesh* dapat dilihat pada Gambar 5, *Build mesh* yang dihasilkan menyebabkan vegetasi ikut termodelkan dan menempel pada dinding bangunan seperti yang terlihat pada Gambar 5, hal ini diakibatkan karena pada saat klasifikasi *point cloud* ada beberapa vegetasi yang terletak dekat dengan dinding bangunan sangat sulit dihilangkan sehingga pada saat dilakukan *build mesh*, vegetasi tersebut ikut dimodelkan dan menempel pada dinding.



Gambar 5. *Build Mesh* (Sumber: Pemrosesan data)

#### 4. Build Texture



(a) atap



(b) depan



(c) belakang



(d) samping kanan



(e) samping kiri

Gambar 6. Hasil *Build texture* (a) atap, (b) depan, (c) belakang, (d) samping kanan, (e) samping kiri (Sumber: Pemrosesan data)

*Build texture* merupakan tahapan akhir dalam proses pemodelan 3D dengan menggunakan metode *structure from motion*. Pada tahapan ini merupakan bagian tahapan yang bertujuan untuk memberikan tekstur dan warna pada obyek sehingga mengikuti keadaan obyek yang sebenarnya. Hasil akhir pemodelan 3D gedung asrama putri “Ratnaningsih Kinanti” dapat dilihat pada Gambar 6.

## 5. Uji Akurasi

Analisis yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan membandingkan titik-titik ICP (*Independent check point*) yang dilakukan pengukuran dilapangan dengan titik-titik yang sama pada model bangunan 3D yang telah dihasilkan. Tabel 1 dibawah ini menunjukkan perbandingan koordinat ICP dengan koordinat model. Perbandingan ukuran sebenarnya dengan ukuran pada model 3D dilakukan pada beberapa bagian gedung dengan jumlah 19 titik.

Tabel 1. Tabel selisih koordinat ICP (*Independent check point*) lapangan dengan model 3D

Titik ICP	X TS (m)	X foto (m)	Y TS (m)	Y Foto (m)	Z TS (m)	Z Foto (m)	Simpangan Baku (XY)	Simpangan Baku (Z)
4	431377,16	431377,1897	9141885,108	9141884,993	177,27	177,229	0,014	0,001849
5	431365,72	431365,7634	9141888,092	9141888,002	184,12	184,066	0,009	0,003364
6	431365,72	431365,7537	9141888,116	9141888,025	178,44	178,404	0,009	0,002025
7	431373,88	431373,9036	9141886,633	9141886,563	173,57	173,525	0,005	0,002209
10	431384,68	431384,7516	9141897,927	9141897,898	177,26	177,227	0,005	0,001369
11	431382,52	431382,5817	9141889,837	9141889,809	174,42	174,388	0,004	0,001089
21	431370,96	431370,9122	9141907,74	9141907,701	175,62	175,673	0,005	0,002025
22	431362,28	431362,268	9141910,042	9141909,979	178,44	178,499	0,004	0,002601
23	431362,28	431362,2716	9141910,05	9141909,982	184,08	184,182	0,005	0,008649
25	431353,55	431353,5344	9141912,397	9141912,3	175,66	175,597	0,010	0,004225
26	431353,57	431353,553	9141912,353	9141912,259	181,27	181,218	0,009	0,002916
31	431336,18	431336,1633	9141916,997	9141916,934	181,28	181,229	0,005	0,003481
32	431336,17	431336,1599	9141917,009	9141916,95	184,11	184,083	0,004	0,001296
33	431384,82	431384,8392	9141903,77	9141903,704	176,34	176,386	0,005	0,001764
34	431384,83	431384,8411	9141903,774	9141903,7	176,83	176,782	0,006	0,002601
35	431384,32	431384,3829	9141903,896	9141903,875	176,83	176,78	0,004	0,002809
36	431383,36	431383,3438	9141904,152	9141904,176	176,34	176,397	0,001	0,002809
62	431325,08	431325,1444	9141898,501	9141898,582	174,49	174,448	0,011	0,001936
63	431325,02	431325,0992	9141898,475	9141898,646	180,07	179,994	0,035	0,005929
<b>Jumlah (cm)</b>							<b>14,85778532</b>	<b>0,054946</b>
<b>RMSE (cm)</b>							<b>0,781988701</b>	<b>-2,2</b>
<b>RMSE (cm)</b>							<b>8,843012502</b>	<b>5,377633994</b>

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa hasil RMSE perbandingan antara titik-titik pengukuran ICP dilapangan dengan ICP pada model 3D didapatkan sebesar 8,84 cm dan RMSE tinggi (H) 5,37 cm. Terkait akurasi model melalui perhitungan RMSE, model bangunan yang dihasilkan merupakan konsep tematik dalam CityGML (*City Geographic Markup Language*) yang merepresentasikan aspek spasial dan tematik suatu bangunan pada empat tingkat LoD, sehingga memenuhi sarat akurasi dalam pemodelan 3D LoD3 sebesar 0,5m.

Analisis hasil pemodelan 3D Gedung Asrama Ratnaningsih Kinanti Universitas Gadjah Mada disajikan tabel selisih antara ukuran dimensi pengukuran dengan pita ukur dilapangan dengan pengukuran beberapa bagian



gedung yang telah dimodelkan secara 3D. Tabel 2 merupakan hasil selisihnya dan Gambar 7 proses pengukuran data lapangan.



Gambar 7. Pengukuran lapangan (Sumber: Dokumentasi lapangan)

Tabel 2. Uji akurasi dimensi model 3D

Nomor	Keterangan	Ukuran Lapangan (m)	Ukuran Model (m)	Selisih (m)
1	Lebar Bangunan	16,76	16,82	0,06
2	Panjang Bangunan	60,264	60,83	0,566
3	Lorong Timur	7,85	7,87	0,02
4	Lorong Barat	7,82	7,88	0,06
5	Pintu Pembuangan Sampah Barat	1,84	1,76	0,08
6	Tembok Teralis	3,582	3,53	0,052
7	Lorong Selatan	4,68	4,75	0,07
8	Lorong Utara	4,75	4,83	0,08
9	Lebar Jendela	1,612	1,6	0,012
10	Lebar Pintu Kantin	1,661	1,616	0,045
11	Lebar Jendela WC	2,88	2,819	0,061
<b>Jumlah (cm)</b>				<b>1,223236</b>
<b>RMSE (cm)</b>				<b>11,12032727</b>

Berdasarkan pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa hasil RMSE perbandingan antara jarak setiap objek yang dijadikan sampel pengukuran dilapangan dengan model 3D didapatkan RMSE 11,12 cm. Sehingga dapat dikatakan memenuhi syarat dalam standar cityGML (City Geographic Markup Language) yang merupakan representasi dalam aspek tematik dan spasial suatu bangunan yang dimodelkan secara 3D dengan tingkat ketelitian LoD3 sebesar 0,5 meter.

## Kesimpulan

Teknologi SfM (*structure from motion*) dalam memodelkan bangunan 3D dengan memanfaatkan kombinasi data foto udara dan fotogrametri terestris didapatkan hasil yang cukup baik. Dari hasil analisis yang dicapai, penelitian ini menunjukkan hasil pemodelan 3D yang memiliki ketelitian geometri sebesar 8,843 cm dan ketelitian tinggi (H) sebesar 5,377 cm. 8,843 5,377 cm 11,12 cm. Perbandingan jarak setiap objek yang dijadikan sampel pengukuran dilapangan dengan model 3D yang menunjukkan akurasi dimensi bangunan yang telah dimodelkan didapatkan sebesar 11,120 cm. Hasil evaluasi uji akurasi geometri dan dimensi penggunaan foto udara dan fotogrametri terestris dalam pemodelan 3D LoD3 dinilai dari hasil proses pemodelan 3D secara otomatis menggunakan teknologi SfM (*Structure from Motion*) tersebut menghasilkan model bangunan 3D dalam *Level of Detail* (LoD) 3 dengan nilai Root Mean Square Error < 0,5 meter dan memiliki kelengkapan semantik bangunan yang sesuai dengan objek aslinya yang berdasarkan kepada *standar City Geography Markup Language* (CityGML). Sehingga metode SfM (*structure from motion*) dapat digunakan dan menjadi salah satu pilihan alternatif dalam merekonstruksi suatu bangunan 3D LoD3 dengan tingkat akurasi yang baik

dan dilakukan *editing* secara manual terhadap *point cloud* yang dihasilkan sehingga bangunan yang dimodelkan memiliki kesamaan secara visual dan ukuran geometri maupun dimensi sesuai dengan bentuk aslinya.

Meningkatkan kualitas model bangunan 3D dan meminimalisir *noise* yang terdapat di beberapa bagian bangunan, perlu dilakukan *editing* manual secara interaktif. Setelah melakukan proses *Build Dense Cloud* disarankan untuk melakukan *editing manual* terhadap *point cloud* yang dihasilkan untuk memfilter beberapa *point* yang tidak perlu sehingga tidak mengganggu hasil pemodelan pada proses-proses selanjutnya. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan topology 3D dengan menggunakan *software* (perangkat lunak) yang dapat dilakukan untuk pemrosesan topology 3D seperti *extension API Google Sketchup* yang berbayar dan juga *Blender* sehingga hasil pemodelan dapat dilakukan analisis spasial dan BIM untuk keperluan analisa yang berkelanjutan sesuai kebutuhan.

## Daftar Pustaka

- Carbonneau, P. E., & Dietrich, J. T. (2017). *Cost-Effective Non-Metric Photogrammetry from Consumer-Grade sUAS: Implications for Direct Georeferencing of Structure from Motion Photogrammetry*. <https://doi.org/10.1002/esp.4012>
- Eltner, A., & Sofia, G. (2020). Structure from motion photogrammetric technique. In *Remote Sensing of Geomorphology* (1st ed., Vol. 23). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64177-9.00001-1>
- Fadjrie, M., Darmawan, S., & Maharani, M. (2018). *Penerapan Metode Fotogrametri Jarak Dekat Kombinasi Data Unmanned Aerial Vehicle Untuk Pembuatan Model 3D*. 10–16.
- Gröger, G., Kolbe, T. H., Nagel, C., & Häfele, K.-H. (2008). *Open Geospatial Consortium Inc . OpenGIS® City Geography Markup Language ( CityGML ) Encoding Standard*.
- Gruen, A. (2012). *DEVELOPMENT AND STATUS OF IMAGE MATCHING IN PHOTOGRAMMETRY*. 27(March), 36–57. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2011.00671.x>
- Jebur, A., Abed, F. M., & Mohammed, M. U. (2017). *3D City Modelling by Photogrammetric Techniques*. (July). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11494.06722>
- Kolbe, T. H. (2016). *Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML*. (September). <https://doi.org/10.1007/978-3-540-87395-2>
- Marvi, T. G., Tjahjadi, M. E., & Adkha, Y. M. (2020). *VISUALISASI 3D MODELLING DARI HASIL KOMBINASI KAMERA DSLR DAN UAV DENGAN METODE CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY PADA OBJEK Studi Kasus Objek Plengsengan , Bendungan Sengkaling , Desa Tegalondo , Kecamatan Karang Ploso , Kabupaten Malang*. 1–8.
- T. Luhmann, S. Robson, S. Kyle, I. H. (2006). *Close Range Photogrammetry*. Caithness KW6 6EY, Scotland, UK: Dunbeath Mains Cottages, Dunbeath.
- Tjahjadi, M. E., & Rifaan, M. (2019). *FOTO UDARA MENGGUNAKAN UNMANNED AERIAL VEHICLE ( UAV ) UNTUK PEMODELAN 3D JALAN RAYA*.
- Wang, Q., & Yan, L. (2016). *A Semantic Modelling Framework-Based Method for Building Reconstruction A Semantic Modelling Framework-Based Method for Building Reconstruction from Point Clouds*. (September). <https://doi.org/10.3390/rs8090737>
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). Geomorphology ‘ 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>



This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).