

## PEMODELAN 3 (TIGA) DIMENSI BANGUNAN MENGGUNAKAN FOTO UDARA FORMAT KECIL

(STUDI KASUS: FAKULTAS TEKNIK, UNIVERSITAS DIPONEGORO)

Fitrah Trikusuma<sup>\*)</sup>, Yudo Prasetyo, Firman Hadi

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788  
Email: [fitrahtrikusuma@students.undip.ac.id](mailto:fitrahtrikusuma@students.undip.ac.id)

### ABSTRAK

Konsep model pemetaan kawasan dalam bentuk 3 dimensi merupakan rintisan pengembangan teknologi terkini dalam lingkup geospasial terutama pengembangan model sederhana *Smart City*. Sebuah konsep berurgensi tinggi dalam pengembangan situs kawasan seperti pelabuhan, kampus, dan lainnya yang melingkupi aspek fisik dan semantik. Rekonstruksi bangunan berjalan sejajar dengan teknologi survei dan pemetaan akan kebutuhan data kebumihan yang dapat memberikan informasi spasial berupa posisi serta ruang yang mendekati dari keadaan di lapangan dan terus berkembang, sudah saatnya untuk mendalami langsung mengenai konsep rekonstruksi bangunan (Ma Z. dkk., 2017).

Pemodelan bangunan 3 dimensi dalam penelitian ini menggunakan data foto udara format kecil berbasis metode *computer-generated architecture* (CGA). Pengolahan terbagi menjadi 2 tahap, yakni tahap pengolahan foto udara dan tahap pemodelan 3 dimensi bangunan. Pengolahan foto udara dilakukan guna mendapatkan *surface model* seperti *digital elevation model* (DEM), *digital terrain and building model* (DTBM) dan *orthomosaic* sebagai peta dasar pembuatan *footprint* bangunan. Tahap selanjutnya adalah proses pemodelan bangunan 3D menggunakan metode CGA dengan algoritma *building from footprint*.

Hasil pengolahan foto udara meliputi DEM, DTBM dan *orthomosaic* yang layak sesuai dengan kriteria dalam melakukan pemodelan menggunakan metode CGA. DEM yang dihasilkan dapat layak digunakan dengan capaian tingkat kelas I berdasarkan standar peta RBI, *Orthomosaic* yang dihasilkan layak digunakan dengan capaian tingkat kelas I berdasarkan standar ASPRS, dan DTBM yang dihasilkan layak digunakan dengan membandingkan resolusi DTBM penelitian milik Buyukdemircioglu dkk., 2018 dengan resolusi sebesar 12 cm. Hasil pemodelan 3 dimensi menggunakan metode CGA menghasilkan 92,12% dari 51 bangunan secara keseluruhan. Model bangunan 3 dimensi juga berhasil mencapai *level of detail* kelas 2.2 berdasarkan standar milik Biljecki dkk., 2016.

**Kata Kunci** : Bangunan, *Computer generated architecture*, *Dense cloud*, Pemetaan kawasan, Pemodelan 3 dimensi

*The concept of an area mapping model in 3-dimensional form is the pioneering development of the latest technology in the geospatial scope, especially the development of a simple Smart City model. A concept of high relevance in the development of regional sites such as ports, campuses, and others that encompass physical and semantic aspects. Building reconstruction runs parallel to survey and mapping technology for the need for geo data which can provide spatial information in the form of positions and spaces that are close to conditions on the ground and continue to develop, it is time to explore firsthand the concept of building reconstruction (Ma Z. et al., 2017).*

*3D building modeling in this study uses small format aerial photo data based on the computer-generated architecture (CGA) method. Processing is divided into 2 stages, namely the stage of processing aerial photographs and the stage of 3-dimensional modeling of buildings. Aerial photo processing is carried out in order to obtain surface models such as digital elevation models (DEM), digital terrain and building models (DTBM) and orthomosaic as base maps for building footprints. The next stage is the 3D building modeling process using the CGA method with the building from footprint algorithm.*

*The results of aerial photo processing include DEM, DTBM and proper orthomosaic according to the criteria for modeling using the CGA method. The resulting DEM can be used with class I level achievements based on the RBI map standard, the resulting Orthomosaic is suitable for use with class I level achievements based on ASPRS standards, and the resulting DTBM is suitable for use by comparing the DTBM resolutions of the research owned by Buyukdemircioglu et al., 2018 with a resolution of 12 cm. The results of 3-dimensional modeling using the CGA method resulted in 92.12% of the total 51 buildings. The 3-dimensional building model has also succeeded in achieving a 2.2 class level of detail based on the standard belonging to Biljecki et al., 2016.*

**Keywords** : 3-Dimensional modelling, Area mapping, Buildings, Computergenerated architecture, Dense cloud

<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab

**I. Pendahuluan**

**I.1 Latar Belakang**

Perkembangan teknologi dunia berkembang pesat dan mutakhir dewasa ini, keberjalanan waktu yang dilalui selalu ada saja inovasi yang beragam dan berkelanjutan, salah satunya adalah teknologi dalam pemetaan kawasan 3 dimensi.

Konsep pemetaan kawasan dalam basis 3 dimensi merupakan sebuah tahap awal dalam pengembangan teknologi dalam lingkup kebumihan. Sebuah konsep dengan urgensi tinggi dalam pengembangan situs kawasan seperti pelabuhan, kampus, dan lainnya melingkupi aspek fisik dan semantik. Secara fisik dan semantik pemetaan kawasan 3 dimensi merupakan salah satu solusi pengembangan dan perencanaan kawasan dengan menyajikan bentuk visual kawasan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan. Perkembangan teknologi pemetaan kawasan 3 dimensi juga berkembang dalam penataan kota, rekonstruksi serta *building information model* (BIM) yang berbasis rekonstruksi bangunan menjadi model 3 dimensi bangunan.

Rekonstruksi bangunan berjalan sejajar dengan teknologi survei dan pemetaan akan kebutuhan data kebumihan yang dapat memberikan informasi spasial berupa posisi serta ruang yang mendekati dari keadaan di lapangan dan terus berkembang. Informasi geospasial dan rekonstruksi bangunan sangat dibutuhkan pada pengembangan kawasan terbangun seperti perkotaan (Ma. Z dan Ren Y., 2017), namun dalam aspek pengembangan kawasan *Smart City* dan metode yang digunakan dalam registrasi pemodelan 3 dimensi cenderung menggunakan biaya yang cukup tinggi. Hal ini juga perlu dilakukannya pendekatan secara geospasial yang baik, akurat dan efisien dengan kemampuan yang dapat mempresentasikan model bangunan dengan 3 unsur dimensi (X, Y dan Z) serta memiliki kemampuan representasi visual dengan beragam perspektif.

Model bangunan dengan 3 unsur dimensi dapat direalisasikan dengan beberapa metode dalam ilmu geospasial. Secara umum, model 3 dimensi dapat dihasilkan dengan menggunakan data *pointclouds* yang dapat diakuisisi dengan metode registrasi seperti *laser scanning* dan juga fotogrametri (Ibadurohman A., 2015). Foto udara sebagai dasar pemodelan bangunan dapat dilakukan pengolahan lebih lanjut menjadi *digital elevation model* (DEM) dan *digital surface model* (DSM). DEM dan DSM dapat dilakukan pengolahan lebih lanjut dengan pemetaan model bangunan 3 dimensi secara masif dan efisien menggunakan metode *Computer-Generated Architecture* (CGA). Metode CGA merupakan solusi dalam pemodelan bangunan 3 dimensi dengan keakuratan bentuk dan ukuran yang sesuai (*conform*) (Muller P., dkk., 2006).

Pemodelan 3 dimensi bangunan menggunakan metode CGA merupakan studi yang berpengaruh terhadap pembangunan kawasan yang memiliki tujuan yang membawa perwujudan dari perencanaan dan pembangunan Kawasan *Smart City* dengan efisien.

**I.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana tingkat kelayakan hasil pengolahan foto udara sebagai bahan pemodelan bangunan 3 dimensi?
2. Bagaimana hasil visualisasi model 3 dimensi bangunan menggunakan metode *computer generated architecture* (CGA)?

**I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian**

1. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini, antara lain:

- a. Mengetahui tingkat kelayakan berbagai hasil pengolahan foto udara sebagai bahan pemodelan 3 dimensi bangunan;
- b. Mengetahui bagaimana hasil visualisasi model 3 dimensi bangunan menggunakan metode CGA.

2. Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini, antara lain:

a. Segi kerekayasaan

Hasil penelitian dapat digunakan dalam pemanfaatan dan penerapan yang baik dalam pengembangan dan perencanaan kawasan yang berkelanjutan. Selain itu, dalam bentuk model 3D dapat digunakan sebagai acuan kerja dalam penataan kawasan dan bentuk visualisasi yang mudah digunakan dan dianalisa lebih lanjut untuk penelitian selanjutnya.

b. Segi keilmuan

Hasil penelitian dapat digunakan untuk memperkaya ilmu fotogrametri dan pemodelan 3 dimensi bangunan khususnya dalam segi pemanfaatan dan pengolahan foto udara dan pemodelan metode CGA.

**I.4 Batasan Masalah**

Penelitian ini mencakup pada Batasan masalah agar fokus pada penelitian, diantaranya:

1. Akuisisi data merupakan data sekunder dengan spesifikasi perekaman dilakukan menggunakan wahana UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*).
2. Foto udara diolah sampai menjadi *dense cloud*, DEM, *Digital Terrain and Building Model* (DTBM), *Orthomosaic* dan SHP *footprint* bangunan.
3. Data *dense cloud*, DEM, DTBM, *Orthomosaic* dan SHP *footprint* bangunan diolah kembali menjadi Model 3 Dimensi bangunan sampai dengan *level of detail 2* (LoD2).
4. Penelitian hanya berfokus pada kelayakan hasil pengolahan foto udara dan pemodelan model bangunan 3 dimensi.

**II. Tinjauan Pustaka**

**II.1 Kajian Wilayah Penelitian**

Secara geografis, kampus Universitas Diponegoro terletak pada koordinat geografis 7°03'06" Lintang Selatan dan 110°26'27.24" Bujur Timur. Kawasan Pendidikan Fakultas Teknik dan komplek Gedung Soedarto Universitas Diponegoro memiliki batas - batas wilayah sebagai berikut; batas wilayah

bagian utara dibatasi oleh Fakultas Sains dan Matematika (FSM) dan kompleks Widya Puraya, bagian barat dibatasi oleh Fakultas Ilmu Sosial dan Politik (FISIP), bagian selatan dibatasi Koperasi dan *Student Centre* Undip serta Fakultas Peternakan dan Pertanian (FPP) dan bagian timur dibatasi oleh Fakultas Peternakan dan Pertanian (FPP) dan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK). Secara topografi wilayah, kampus Fakultas Teknik Universitas Diponegoro memiliki *relief* atau bentuk muka bumi yang bergelombang dan relatif heterogen datar satu titik wilayah dengan titik wilayah lainnya.

**II.2 Konsep Pemodelan Kota 3 Dimensi**

Sebuah model kota 3D merupakan representasi digital dari permukaan bumi dan obyek yang ada pada perkotaan. Model kota 3D dapat digunakan sebagai alat untuk meningkatkan pemahaman mengenai keadaan sebenarnya dari kota. Pemodelan kota 3D dapat digunakan untuk beberapa keperluan diantaranya yang berkaitan dengan perencanaan perkotaan, studi lingkungan dan manajemen bencana (Rodriguez, 2011).

**II.2.1 Definisi Pemodelan Kota 3 Dimensi**

Pemodelan kota 3 Dimensi dapat disimpulkan merupakan representasi sebuah kota yang memiliki kapasitas volume dengan tujuan untuk mencapai tujuan pembentukan aspek fisik sebuah kota dalam bentuk kota digital.

**II.2.2 Teknik Pemodelan Kota 3 Dimensi**

Pemodelan kota 3 dimensi dilakukan karena model 3D dinilai lebih menarik dan lebih informatif dalam memberikan informasi terutama informasi yang terkait dengan informasi geospasial bagi sebagian besar pengguna. Model 3D mampu merepresentasikan keadaan yang hampir sama di lapangan atau di dunia nyata. Komponen- komponen penyusun dari model terdiri dari koordinat X, Y, dan Z. Nilai Z memberikan nilai ketinggian bagi sebuah objek.

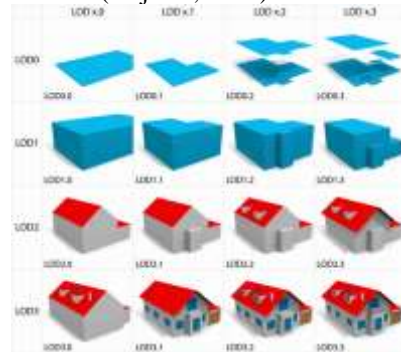
Komponen – komponen penyusun dalam pemodelan 3 dimensi dapat diakuisisi menggunakan beberapa data registrasi antara lain; data *dense cloud*, penghasilan model dengan *footprint* alas geometri, *Digital Terrain and Building Model*, dan sebagainya yang diolah sedemikian rupa untuk menghasilkan model 3 dimensi dengan standar kualitas yang ditentukan.

**II.2.3 Standar Kualitas Pemodelan Kota 3 Dimensi**

Standar kualitas dalam pelaksanaan pembuatan model tiga dimensi pada daerah perkotaan dan model situasinya berdasarkan pada standar *Level of Detail* (LoD) yang dikembangkan oleh City Geography Markup Language (CityGML) yang terbagi menjadi 4 level, antara lain LoD0 hingga LoD3 dan sub-LoDx.0 hingga sub-LoDx.3 (Biljecki, dkk., 2016).

LoD merupakan tahapan – tahapan dalam pembuatan model dan model situasi yang menunjukkan kemajuan dari model 3D mengenai tingkat ketidilatan objek – objek dan situasinya. LoD adalah sebuah konsep yang terdapat pada macam-macam disiplin ilmu yang terkait dengan komputer grafik, kartografi, dan desain sirkuit listrik. Bagi para pengguna sistem

informasi geografis, *level of detail* lebih relevan pada permodelan kota (Biljecki, 2017).



**Gambar 1.** Spesifikasi Standar LoD0 – LoD3 (Biljecki F., dkk., 2016)

**II.3 Konsep Dense Cloud**

*Dense cloud* merupakan sekumpulan titik – titik yang memiliki nilai koordinat 3 dimensi (X, Y dan Z) dalam suatu sistem koordinat yang sama (Hutagalung A., 2017). Registrasi *dense cloud* merupakan metode dalam akuisisi data *dense cloud* itu sendiri. Ada berbagai cara dan metode dalam registrasi *dense cloud*, yakni metode registrasi menggunakan teknologi *Light Detection and Ranging* (LiDAR) seperti *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dan *Airborne Laser Scanner* (ALS) dan metode registrasi dengan fotogrametri serta fotogrametri rentang dekat.

Klasifikasi *dense cloud* merupakan salah satu proses yang dapat dilakukan untuk meregistrasi atau memilah data *dense cloud* yang dibutuhkan dengan tujuan dan fungsi tertentu. Contoh studi kasus dalam proses klasifikasi *dense cloud* adalah dalam proses pembuatan DEM, yang artinya seluruh objek diatas *groundtruth* tidak perlu diregistrasikan dalam proses selanjutnya, maka perlu dilakukan klasifikasi agar *dense cloud* bagian objek diatas *groundtruth* tidak ter-registrasi. Beberapa metode dalam klasifikasi *dense cloud*, yakni *filtering*, *macro command*, dan lain - lain. Teknik klasifikasi *dense cloud* terbagi menjadi 3 bagian, yakni klasifikasi *groundtruth*, bangunan, dan vegetasi.

**II.4 Konsep City Geography Markup Language (CityGML)**

CityGML merupakan skema pengaplikasian dalam kombinasi model informasi kota dengan GML untuk pertukaran data model 3 dimensi kota serta model lansekapnya (Jurgen, dkk., 2006) dimana dideskripsikan lebih lanjut sebagai berikut:

**II.4.1 Definisi CityGML**

CityGML merupakan format dasar yang digunakan sebagai format untuk pertukaran data – data atribut kota dalam format GML yang dikemas dalam satu kesatuan menjadi model informasi yang efisien, rinci dan mutakhir (Jurgen, dkk., 2006). Model informasi yang digunakan merupakan kombinasi dari data model 3 dimensi kota, data atribut kota, model topografi kota serta hubungan antara atribut kota dengan topografi kota yang akan membentuk wilayah dan kota yang memiliki lingkungan kewilayahan.

II.4.2 Tingkatan Model CityGML

Tingkatan model informasi dalam cityGML dibagi menjadi 5 tingkatan umum berdasarkan kemanfaatannya pada ruang (Open Geospatial Consortium, 2012).

Tabel 1. Spesifikasi model 3 dimensi bangunan (Open Geospatial Consortium, 2012)

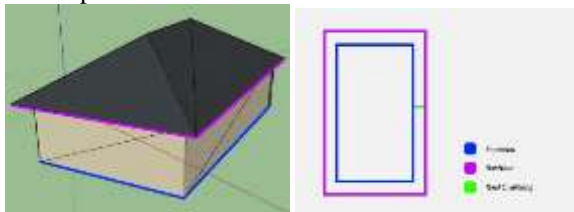
Spesifikasi	LoD0	LoD1	LoD2	LoD3	LoD4
Kelas Akurasi	Sangat rendah	Rendah	Menengah	Tinggi	Sangat Tinggi
Akurasi posisi dan tinggi bangunan	< 5 m	5 m	2 m / 1 m	0.5 m	0.2 m

II.5 Konsep Bangunan

Arti kata ‘bangunan’ menurut KBBI merupakan sesuatu yang didirikan; sesuatu yang dibangun (seperti rumah, gedung, menara, dan lain - lain.). Sebuah bangunan rumah dan gedung memiliki beberapa komponen inti dalam penentuan bentuk dan ukuran bangunan itu sendiri dengan istilah – istilah yang bermacam – macam.

II.5.1 Footprint, Roofprint dan Roof Overhang

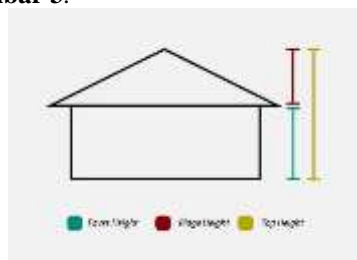
Footprint atau jejak tanah merupakan bentuk geometri dari komponen bangunan pada bagian dasar bangunan yang dapat mencakup seluruh model bangunan secara planimetris tanah. Berbeda dengan footprint, roofprint atau jejak atap merupakan bentuk geometri dari komponen bangunan pada bagian dasar atap yang mencakup hanya pada model atap. Roof overhang merupakan jarak antara footprint dan roofprint yang ditarik tegak lurus dari geometrinya dengan standar Panjang maksimal sepanjang 2 kaki atau kurang lebih 60 cm (Lacoma, 2019). Skema dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Footprint, roofprint dan roof overhang

II.5.2 Top Height, Ridge Height dan Eave Height

Top height merupakan tinggi bangunan yang dihitung dari footprint sampai dengan tinggi keseluruhan bangunan. Ridge height merupakan tinggi bangunan yang dihitung dari roofprint sampai dengan tinggi keseluruhan bangunan. Eave height merupakan tinggi bangunan yang dihitung dari footprint sampai dengan tinggi roofprint bangunan. Skema dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Top, ridge dan eave height

II.6 Uji Ketelitian DEM dan Orthomosaic

Konsep uji ketelitian merupakan suatu metode dalam penelitian sebagai bukti atau indikator bahwa penelitian mencapai hasil yang diinginkan. Hasil penelitian dilakukan validasi dengan pengujian sesuai dengan jenis data yang dibutuhkan.

II.6.1 Uji Ketelitian DEM

Uji ketelitian DEM merupakan proses pengujian DEM berdasar pada nilai ketelitian posisi suatu titik pada model elevasi sebagai peta dasar. Ketelitian DEM didapat dari nilai RMSE ICP dengan batasan nilai sesuai dengan nilai CE90 dan LE90. CE90 merupakan batasan nilai kelas ketelitian horizontal dan LE90 merupakan batas nilai kelas ketelitian vertikal dengan tingkat kepercayaan 90%. Mengenai ketelitian geometri menurut Peraturan Kepala BIG No.15 tahun 2014 dengan skala peta 1:3.000 dengan rentang kelas 3 sampai dengan kelas 3. Ketentuan kelas peta dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Ketentuan ketelitian geometri peta RBI berdasarkan kelas (Badan Informasi Geospasial, 2014)

Ketelitian	Kelas 1	Kelas 2 (m)	Kelas 3 (m)
Horizontal	0,2 mm x 3.000	0,3 mm x 3.000	0,5 mm x 3.000
Vertikal	0,5 x interval kontur	1,5 x interval kontur	2,5 x interval kontur

Nilai CE90 dan LE90 dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

$$CE90 = RSME_H \times 1,5175 \dots \dots \dots (I.1)$$

$$LE90 = RSME_V \times 1,6499 \dots \dots \dots (I.2)$$

Keterangan:

$RSME_H$  : Root Mean Square Error untuk horizontal

$RSME_V$  : Root Mean Square Error untuk vertikal

II.6.2 Uji Ketelitian Orthomosaic

Uji ketelitian orthomosaic merupakan proses pengujian peta foto berdasarkan titik GCP terkait proses tranformasi koordinat foto ke koordinat lapangan yang mengacu pada standar dari ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing). Ketelitian didapatkan dengan hasil ukuran piksel pada foto udara kemudian dilakukan perkalian dengan 0,5N, dimana N merupakan nomor kelas. Standar akurasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Standar akurasi orthomosaic (ASPRS, 2013)

Kelas	RMSE (cm)
I	ukuran piksel x 0,5
II	ukuran piksel x 1,0
III	ukuran piksel x 1,5
...	...
N	ukuran piksel x 0,5N

III. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian meliputi peralatan penelitian, data penelitian dan diagram alir penelitian serta tahapannya.

**III.1 Peralatan dan Data Penelitian**

Adapun alat dan data penelitian yang dibutuhkan dalam penelitian, sebagai berikut:

1. Peralatan Penelitian
  - a. Laptop HP Pavilion 14-ab129TX, Intel I5, RAM 16 GB dan memori SSD 512 MB
  - b. Microsoft Windows 10 Home
  - c. Microsoft Office 2019
  - d. Agisoft Metashape
  - e. ESRI ArcMap 10.3
  - f. ESRI City Engine 2019
2. Data Penelitian
  - a. Foto udara *unmanned aerial vehicle* (UAV) sekunder tahun 2019
  - b. Data *benchmark* UNDIP sebagai GCP dan ICP
  - c. CGA Rules: *Building form footprint*

Data foto udara UAV merupakan data milik Syarifah Mayda Az, salah satu mahasiswa Teknik Geodesi UNDIP yang direkam pada bulan Mei tahun 2019. Pengumpulan data dilakukan pada waktu siang selama 3 hari dengan 7 kali *project* terbang dengan ketinggian terbang relatif 100 m dan perencanaan *sidelap* dan *overlap* sebesar 75%. Data foto udara direkam dengan menggunakan UAV DJI Phantom 4 Pro.

Perekaman foto udara UAV tidak menggunakan *Premark*. Pengikatan foto udara diikatkan pada *Benchmark* Universitas Diponegoro (BM UNDIP) yang terlihat pada foto dan memenuhi parameter minimal BM yang terlihat pada foto yang terlampir berjumlah tujuh buah. Spesifikasi BM dapat dilihat pada **Tabel 4**. Titik GCP dan ICP merupakan BM milik Fakultas Teknik UNDIP yang sudah diketahui nilai koordinatnya dan sudah dilakukan kontrol kualitas mutakhir pada tahun 2017.

**Tabel 4.** Data *benchmark* UNDIP

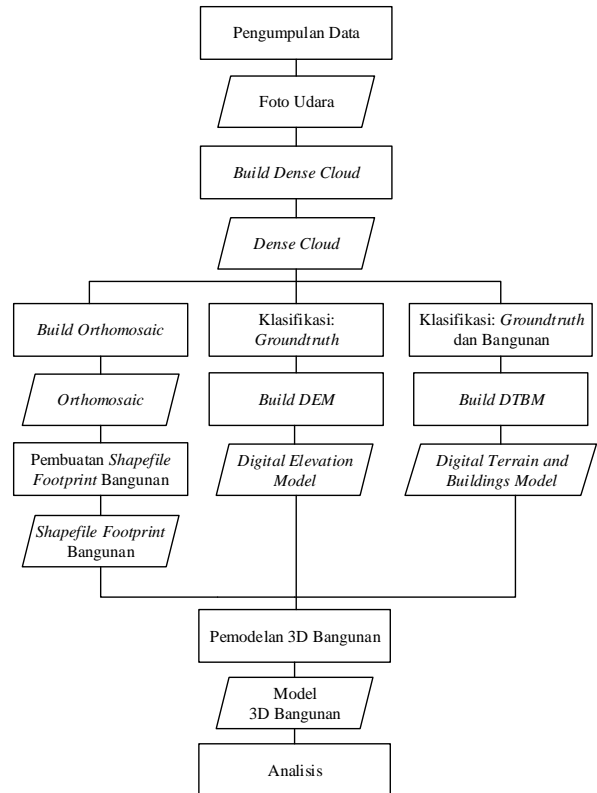
Nama BM	Elevasi (m)	Lintang (m)	Bujur (m)
GD16	211.429	438143.457	9220467.016
GD05	210.096	438102.859	9220279.867
GD28	207.5959	438005.076	9220310.133
GD03	190.763	438365.650	9220586.878
GD32	206.786	438331.221	9220448.554
GD04	184.466	438413.545	9220746.083
GD13	209.088	438030.697	9220483.436

**III.2 Diagram Alir Penelitian**

Metode Pemodelan 3 dimensi dalam penelitian ini mengikuti alur dan langkah kerja seperti pada **Gambar 4**. Berdasarkan diagram alir tersebut, berikut rincian setiap tahapnya:

**III.2.1 Build Dense Cloud**

Tahap *build dense cloud* merupakan tahap pengolahan awal foto udara menggunakan foto udara yang sudah dilakukan orientasi dengan melakukan *aligning photos* yang bertujuan untuk melakukan penampalan pada foto udara berdasarkan akuisisi dan tipe pertampalannya (Nur Afani I., dkk., 2019).



**Gambar 4.** Diagram Alir Penelitian

Proses selanjutnya merupakan orthorektifikasi yang bertujuan untuk memperbaiki kesalahan – kesalahan geometri pada foto udara menggunakan GCP. Penelitian ini menggunakan 5 titik GCP dan 2 titik ICP. **Gambar 5** menunjukkan RMSE GCP sebesar 0,008 dan 19,335 pix.

Titik	Elevasi (m)	North (m)	East (m)	Accuracy (m)	Error (pix)	Pergerakan	Detail
P1	211.429	438143.457	9220467.016	0.0008	0.014011	30	34.046
P2	210.096	438102.859	9220279.867	0.0008	0.014440	11	16.775
P3	207.5959	438005.076	9220310.133	0.0008	0.014407	16	9.048
P4	190.763	438365.650	9220586.878	0.0008	0.014100	34	6.116
P5	206.786	438331.221	9220448.554	0.0008	0.014212	30	1.867
P6	184.466	438413.545	9220746.083	0.0008	0.014350	26	4.281
P7	209.088	438030.697	9220483.436	0.0008	0.014902	11	19.889
<b>Total Rata-rata</b>							
Control points:	0.000438	0.002052	0.007917		0.017112		16.325
Check points:							

**Gambar 5.** Rincian ketelitian GCP

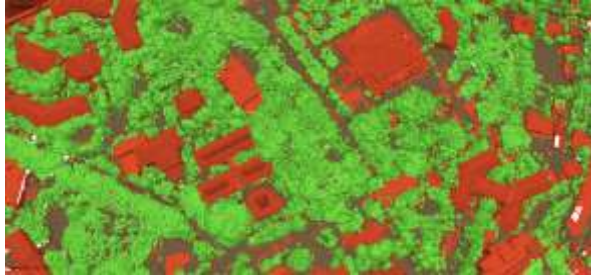
Setelah melakukan orthorektifikasi, tahap selanjutnya merupakan pembuatan *dense cloud* yang merupakan proses dalam perapatan titik – titik. *Build dense cloud* dilakukan dengan parameter kualitas *medium*. Hasil pengolahan *dense cloud* akan dijadikan sebagai dasar dalam proses klasifikasi *dense cloud* dan hasil dapat dilihat pada **Gambar 6**.



**Gambar 6.** Dense Cloud

III.2.2 Klasifikasi *Dense Cloud*

Tahap klasifikasi *dense cloud* merupakan tahap dalam melakukan pengkelasan berdasarkan *dense cloud* tanah, bangunan dan vegetasi menggunakan metode klasifikasi otomatis dengan algoritma *classify point*. Hasil dapat dilihat pada **Gambar 7**.

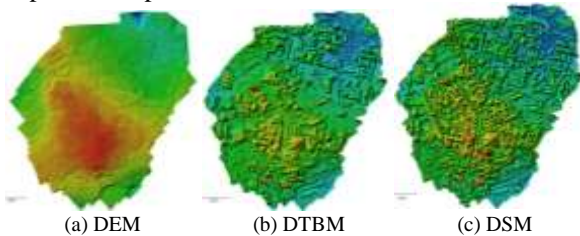


**Gambar 7.** Hasil klasifikasi *dense cloud*

III.2.3 *Build Surface Models*

Tahap *build models* merupakan tahap pembentukan model 3 dimensi yang dilakukan berdasarkan data *dense cloud* yang sudah terklasifikasi. Tahap ini dilakukan duplikasi menjadi 3 *dense cloud* terklasifikasi untuk dilakukan proses selanjutnya yaitu *build mesh*. *Build mesh* dibagi menjadi 3 jenis yakni, *mesh* yang menggunakan seluruh kelas *dense cloud*, *mesh* yang menggunakan kelas *groundtruth* dan bangunan, serta *mesh* yang menggunakan kelas *groundtruth* saja.

Setelah melakukan *build mesh*, selanjutnya tahap *build surface models* yang merupakan proses pembuatan data raster tegak yang memiliki nilai ketinggian dalam modelnya dengan beberapa parameter dalam pembuatannya. Hasil pengolahan menghasilkan *digital surface model* (DSM), DEM dan DTBM yang dapat dilihat pada **Gambar 8**.



**Gambar 8.** Hasil *build surface model*

III.2.4 *Build Orthomosaic*

Tahap *build orthomosaic* merupakan tahap pembuatan *orthophoto* atau foto tegak berdasarkan data DSM yang sudah dimodelkan pada subbab III.2.3. Hasil *orthophoto* yang sudah dihasilkan akan digunakan sebagai peta dasar dalam pembuatan *shapefile footprint* bangunan. *Orthophoto* dapat dilihat pada **Gambar 9**.



**Gambar 9.** *Orthophoto*

III.2.5 Pembuatan *Shapefile Footprint* Bangunan

Tahap pembuatan SHP *footprint* bangunan merupakan tahap digitasi *shapefile* menggunakan *orthophoto* sebagai peta dasar. Objek yang akan didigitasi adalah bagian bangunan saja. Proses ini dilakukan menggunakan perangkat lunak ESRI ArcMap 10.3. visualisasi SHP *footprint* bangunan dapat dilihat pada **Gambar 10**.



**Gambar 10.** *Shapefile footprint* bangunan

III.2.6 Pemodelan 3D Bangunan

Tahap pemodelan 3 dimensi bangunan terbagi menjadi 2 tahap. Tahap pertama merupakan tahap pemodelan bangunan dan tahap kedua merupakan tahap *roof texturing*. Kedua tahap berikut menghasilkan model bertahap dengan LoD1 sampai dengan LoD2.

Tahap pertama merupakan tahap pemodelan awal menggunakan data DEM sebagai peta dasar dan data *footprint* bangunan sebagai dasar bentuk model bangunan yang akan dibangun. Pemodelan dilakukan dengan metode *CGA building from footprint* yang merupakan metode pemodelan berbasis perintah komputer pada *footprint* bangunan.



**Gambar 11.** Hasil pemodelan 3D bangunan

Metode *CGA building from footprint* memodelkan bangunan berdasarkan bentuk horizontalnya kemudian memberikan nilai volume menggunakan nilai tinggi yang ada pada *footprint* bangunan (ESRI, 2020). Pemodelan menghasilkan model bangunan LOD1 (Biljecki F, 2017) dan dapat dilihat pada **Gambar 11**.

Tahap kedua merupakan *roof texturing*, pada tahap ini dilakukan pemodelan atap bangunan dengan kriteria yang sesuai dengan arah orientasinya pada lapangan. Pemodelan atap menggunakan data DTBM sebagai dasar pembentuk model atap dengan metode *aerial image mapping* yang merupakan metode pemodelan atap berdasarkan DTBM yang sesuai dengan DEMnya.



**Gambar 12.** Hasil *roof texturing*

Metode aerial image mapping memodelkan atap bangunan berdasarkan bentuk dan tekstur atap bangunan pada DTBM (ESRI, 2020). Semakin baik resolusi DTBM maka model yang dihasilkan akan semakin baik, begitu juga dengan tingkat kanopi vegetasi, semakin sedikit kanopi vegetasi maka semakin baik modelnya. Pemodelan menghasilkan model bangunan LOD2 (Biljecki F, 2017) dan dapat dilihat pada **Gambar 12**.

**IV. Hasil dan Analisis**

Hasil dan analisis membahas pengolahan *dense cloud*, visualisasi model 3 dimensi bangunan dan kelayakan 3 dimensi bangunan.

**IV.1 Hasil dan Analisis Kelayakan Pengolahan Foto Udara**

IV.1.1 Hasil dan Analisis pra Pengolahan *Dense Cloud*  
Pra-pengolahan *dense cloud* yang dilakukan pada penelitian ini merupakan pengolahan foto udara UAV pada tahap *build dense cloud*. *Build dense cloud* bertujuan untuk membentuk suatu kompilasi data titik dengan orientasi koordinat 3 dimensi (XYZ).

**Tabel 5.** RMSE GCP

Jumlah GCP	X Error (m)	Y Error (m)	Z Error (m)	XY Error (m)	Total (m)
5	0,003	0,002	0,008	0,003	0,009

**Tabel 6.** RMSE ICP

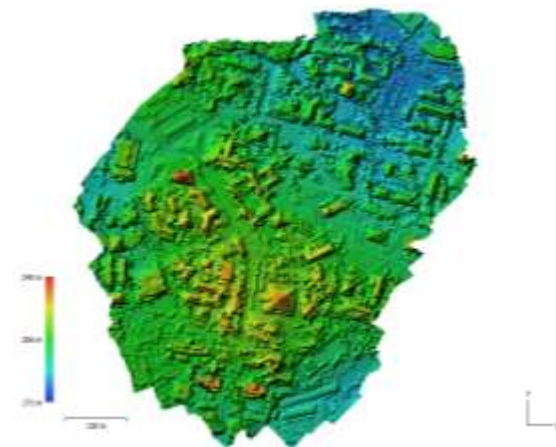
Jumlah ICP	X Error (m)	Y Error (m)	Z Error (m)	XY Error (m)	Total (m)
2	0,082	0,064	0,154	0,104	0,185

Dapat dilihat pada **Tabel 5** dan **Tabel 6**, nilai RMSE GCP sebesar 0,895 cm atau 0,009 m dan RMSE ICP sebesar 18,549 cm atau 0,186 m. RMSE GCP dan ICP berperan penting dalam menunjukkan kualitas foto udara yang telah diolah. RMSE GCP menunjukkan ketepatan pengikatan GCP berdasarkan GCP lainnya, sedangkan ICP menunjukkan kualitas georeferensi berdasarkan GCP yang digunakan. RMSE GCP dan ICP diperlukan perhatian khusus yang menunjukkan kualitas foto udara yang sudah diolah sebelumnya dan telah memenuhi kriteria ketelitian *Open Geospatial Consortium* (RMSE < 1 meter) seperti yang sudah dijelaskan pada **II.4.2**. Penggunaan standar mencapai LoD2 mengacu pada **III.2.6** hasil pengolahan mencapai level kedetilan bangunan kelas 2.

IV.1.2 Hasil Pembuatan DTBM

Hasil dari pembuatan *surface model* DTBM adalah *mesh* dengan jumlah *face* sebanyak 13.464.679 muka dan resolusi sebesar 12 cm. Kualitas dari DTBM yang dibentuk dari hasil pengolahan *dense cloud* diketahui dengan membandingkan penelitian milik Buyukdemircioglu dkk. (2018). Perbandingan dilakukan berdasarkan resolusi dari model DTBM itu

sendiri dalam penelitiannya yang membandingkan berdasarkan empat macam tingkat resolusi yakni 10 cm, 25 cm, 50 cm dan 100 cm (Buyukdemircioglu M., dkk., 2018).

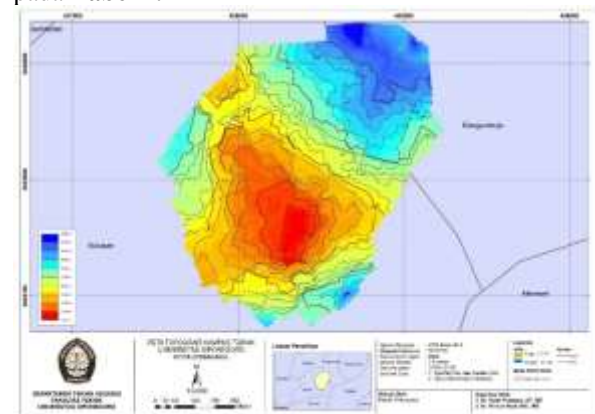


**Gambar 13.** Hasil DTBM

Menurut Buyukdemircioglu dkk. (2018), semakin baik resolusi maka berbanding lurus dengan kualitas model 3D bangunan yang dihasilkan. Terlihat pada penelitiannya kualitas model 3D bangunan dengan DTBM resolusi 10 cm dapat mencapai tingkat kualitas sebesar 73,8% sedangkan jika menggunakan DTBM resolusi 100 cm hanya mencapai tingkat kualitas sebesar 55,1%. Berdasarkan perbandingan diatas, DTBM pada penelitian ini layak digunakan dalam penggunaan pemodelan 3D bangunan dengan resolusi 12 cm.

IV.1.3 Hasil dan Analisis Peta Topografi (DEM)

Kualitas dari peta topografi yang dibentuk dari hasil pengolahan *dense cloud* diketahui dengan proses analisis ketelitian ICP dengan Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014 sebagai acuan untuk ketelitian peta seperti yang sudah dijelaskan pada **II.6.1**. Hasil peta topografi dapat dilihat pada **Gambar 14** dan Ketelitian geometri peta berskala 1:3.000 dapat dilihat pada **Tabel 7**.



**Gambar 14.** Peta topografi Kampus Teknik Undip  
**Tabel 7.** Ketentuan ketelitian geometri peta berskala 1:3.000

Ketelitian	Kelas I (m)	Kelas II (m)	Kelas III (m)
Horizontal	0,6	0,9	1,5
Vertikal	0,6	1,8	3

Hasil RMSE titik ICP secara horizontal dan vertikal dapat dilihat pada **Tabel 8** dan **Tabel 9**.

**Tabel 8.** RMSE horizontal titik ICP

Titik	X Error (m)	Y Error (m)	XY Error (m)
GD16	0,085	0,004	0,085
GD28	0,079	-0,090	0,119
<b>RMSE (m)</b>			<b>0,104</b>

**Tabel 9.** RMSE vertikal titik ICP

Titik	Z Error (m)	
GD16	0,151	
GD28	0,157	
<b>RMSE (m)</b>		<b>0,154</b>

Tabel diatas merupakan parameter kualitas hasil pengolahan seperti yang sudah dijelaskan pada **II.6.1**. Berdasarkan **Tabel 8** dan **Tabel 9** tersebut dapat dihitung CE90 dan LE90. Perhitungan nilai CE dan LE terdapat pada perhitungan dibawah ini:

1. RMSE horizontal CE90  
 $CE90 = 0,104 \times 1,5175 \text{ m}$   
 $CE90 = 0,157 \text{ m}$
2. RMSE vertikal LE90  
 $LE90 = 0,154 \times 1,6499 \text{ m}$   
 $LE90 = 0,254 \text{ m}$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai CE90 sebesar 0,157 m (standar kelas I < 0,6 m) dan LE90 sebesar 0,254 m (standar kelas I < 0,6 m) dan dapat disimpulkan berdasarkan pada **Tabel 7** bahwa peta topografi berada di kelas I dan dapat dipergunakan sebagai dasar pemodelan 3D bangunan.

IV.1.4 Hasil dan Analisis Peta Foto

Kualitas dari peta foto yang dibentuk dari hasil pengolahan *dense cloud* diketahui dengan proses analisis ketelitian ICP berdasarkan pada ukuran piksel foto dengan standar ASPRS (ASPRS, 2013) sebagai acuan untuk ketelitian peta seperti yang sudah dijelaskan pada **II.6.2**. Hasil peta foto dapat dilihat pada **Gambar 15** dan ketentuan kelas ketelitian proses pembentukan *orthomosaic* dapat dilihat pada **Tabel 10**.



**Gambar 15.** Peta foto kampus Teknik Undip  
**Tabel 10.** Kelas standar akurasi untuk *orthomosaic*

Kelas	RMSE (cm)
I	1,555
II	3,110
III	4,665

Hasil RMSE titik GCP secara horizontal dan vertikal dapat dilihat pada **Tabel 11** dan **Tabel 12**.

**Tabel 11.** RMSE horizontal titik GCP

Titik	X Error (m)	Y Error (m)	XY Error (m)
GD05	-0,005	$4,282 \times 10^{-4}$	0,005
GD03	0,001	$-2,052 \times 10^{-5}$	$4,878 \times 10^{-4}$
GD32	0,002	0,005	0,005
GD04	0,002	0,001	0,002
GD13	0,001	0,001	0,002
<b>RMSE (m)</b>			<b>0,003</b>

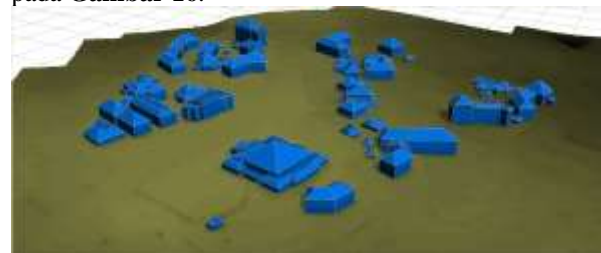
**Tabel 12.** RMSE vertikal titik GCP

Titik	Z Error (m)	
GD05	0,003	
GD03	0,014	
GD32	0,011	
GD04	0,004	
GD13	0,002	
<b>RMSE (m)</b>		<b>0,009</b>

Ditinjau berdasarkan hasil di atas, nilai RMSE horizontal sebesar 0,3 cm (standar kelas I < 1,555 cm) dan RMSE sebesar 0,9 cm (standar kelas I < 1,555 cm) dan dapat disimpulkan berdasarkan pada **Tabel 10** bahwa peta foto berada di standar kualitas kelas I dan dapat dipergunakan sebagai dasar pemodelan 3D bangunan.

IV.2 Hasil Visualisasi Model 3 Dimensi

Pemodelan 3 dimensi bangunan diolah menggunakan metode CGA dengan algoritma parameter *building from footprint*. Secara keseluruhan, dari 51 bangunan yang ada pada wilayah penelitian terdapat 47 bangunan yang berhasil dimodelkan dengan baik, sehingga dapat disimpulkan bahwa 92,16% bangunan termodelkan dengan baik. Hasil dapat dilihat pada **Gambar 16**.



**Gambar 16.** Hasil pemodelan 3 dimensi bangunan

Hasil model yang terbentuk dilakukan menggunakan perangkat lunak ESRI City Engine 2019 dan terdiri dari 1 buah *surface model* yakni DEM dan 47 *shape model* yakni model bangunan.


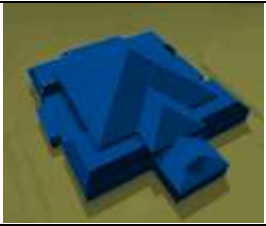
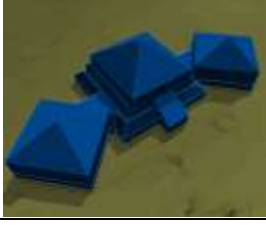


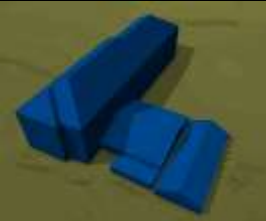
**Tabel 13.** Jumlah objek dalam kampus 3D

Objek	Jumlah
Digital Elevation Model	1 Surface Model
Bangunan	47 Shape

Hasil dari pemodelan 3D bangunan mencapai *level of detail 2.2*. Seperti yang sudah dijelaskan pada **II.2.3** bahwa model bangunan 3 dimensi dengan LoD2.2 merupakan model bangunan yang berfokus pada atap, orientasi arah atap serta instalasi bagian atap (Biljecki F., dkk., 2016). Visualisasi model atap bangunan dapat dilihat pada **Tabel 14**.



**Tabel 14.** Model bangunan 3D (tampak dekat)

<b>Gedung D</b> Dept. Teknik Sipil	<b>Gedung Soedarto</b>
	
<b>Gedung Dekanat Lama Fakultas Teknik</b>	<b>Gedung Kuliah Bersama C, D dan E</b>
	
<b>Gedung Sukowati</b> Dept. Teknik Geologi	<b>Gedung A</b> Dept. Teknik Kimia
	

Dapat dilihat pada **Tabel 14**, sampel menunjukkan bahwa bangunan telah dimodelkan dengan baik mencapai LoD2.2, yang artinya sudah memiliki bentuk atap, instalasi atap dan memiliki arah orientasi yang sesuai. Model bangunan 3 dimensi yang sudah dimodelkan tidak dapat dikelaskan pada LoD2.3 karena model tidak memiliki *roof overhang*, model juga tidak mencapai LoD3.0 karena model tidak memiliki fasad yang baik. Berdasarkan hasil pemodelan 3 dimensi bangunan, dapat disimpulkan bahwa pemodelan 3 dimensi menggunakan metode CGA dapat digunakan sebagai pemetaan dan perencanaan pengembangan kawasan berbasis 3 dimensi.

## V. Kesimpulan dan Saran

### V.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terkait pemodelan 3 dimensi menggunakan foto udara format kecil dapat diambil kesimpulan, sebagai berikut:

1. Hasil analisis kelayakan data olahan foto udara terhadap pemodelan 3 dimensi dari segi pengolahan foto udara dengan RMSE GCP dan ICP sebesar 0,009 dan 0,185 telah memenuhi kriteria OGC LoD2 ( $OGC < 1$  meter), dari segi DTBM telah memenuhi kriteria dengan resolusi DTBM sebesar 12 cm, dari segi DEM telah memenuhi kriteria peta dasar RBI mencapai tingkat kelas 1 dan juga dari segi peta foto telah memenuhi kriteria standar ASPRS dengan capaian tingkat kelas I.
2. Visualisasi hasil pemodelan 3 dimensi bangunan menggunakan metode CGA telah menghasilkan 47

bangunan yang berhasil dipetakan dari 51 total jumlah bangunan pada studi kasus serta satu *surface model* dan hasil pemodelan telah mencapai tingkat LoD2.2 berdasarkan klasifikasi dari Biljecki F., dkk.

### V.2 Saran

Saran yang dapat diberikan, sebagai berikut:

1. Data yang digunakan sebaiknya data yang memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan bebas dari kesalahan – kesalahan yang tidak diperlukan,
2. Pemodelan 3 dimensi sebaiknya menggunakan *workstation* dengan spesifikasi *hardware* tinggi,
3. Referensi mengenai konsep sistem informasi geografi berbasis 3 dimensi sebaiknya diperkaya dan diperbanyak kembali.

### DAFTAR PUSTAKA

- ASPRS. (2013). ASPRS Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. In *Photogrammetric dan Remote Sensing* (pp. 1073-1085). Redlands: ASPRS.
- Badan Informasi Geospasial. (2014). Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014. In *Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar* (p. 15). Bogor: Badan Informasi Geospasial.
- Biljecki, F., Ledoux, H., & Stoter, J. (2016). An Improved LoD Specification for 3D Building Models. *Computer, Environment and Urban Systems*, 25-37.
- Buyukdemircioglu, M., Kocaman, S., & Isikdag, U. (2018). Semi-Automatic 3D City Model Generation from Large-Format Aerial Images. *ISPRS*, 7(Geoinformation), 339.
- ESRI. (2020, Maret 8). *ESRI City Engine*. Retrieved from ESRI: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/esri-cityengine/overview>
- Jurgen, D., Kolbe, T. H., Falko, L., Takis, S., & Karin, T. (2006). The Virtual 3-D City Model of Berlin- Managing, Integrating and Communicating Complex Urban Information. Aalborg: The 25th International Symposium on Urban Data Management UDMS 2006.
- Ma, Z., & Ren, Y. (2017). Integrated Application of BIM and GIS: An Overview. *Procedia Engineering*, 1072-1079.
- Muller, P., Wonka, P., Haegler, S., Ulmer, A., & Van Gool, L. (2006). Procedural Modelling of Buildings. *ACM Transactions on Graphics*, 614-623.
- Nur Afani, I. Y., Yuwono, B. D., & Bashit, N. (2019). Optimalisasi Pembuatan Peta Kontur Skala Besar Menggunakan Kombinasi Data Pengukuran Terestris dan Foto Udara Format Kecil. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 180-189.
- Open Geospatial Consortium. (2012, April 4). OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. *OpenGIS Encoding Standar*, p. 344.
- Singh, S. P., Jain, K., & Mandla, V. R. (2013). Virtual 3D City Modelling: Techniques and

Applications. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-2/W2*(ISPRS 8th 3DGeoInfo Conference & WG II/2 Workshop), 73-91.

Soeta'at. (1994). *Fotogrametri Analitik*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.