

ANALISIS TINGGI TANAMAN PADI MENGGUNAKAN MODEL 3D HASIL PEMOTRETAN UAV DENGAN PENGUKURAN LAPANGAN

Kurniawan Putra Widya Wardana^{*)}, Sawitri Subiyanto, Hani'ah

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
 Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
 Email : wardana.kurniawan@yahoo.com

ABSTRAK

Beras merupakan salah satu kebutuhan pokok untuk memenuhi kebutuhan pangan. Khususnya di Indonesia beras merupakan salah satu makanan pokok yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat. Akan tetapi produksi beras di Indonesia sendiri masih belum bisa mencukupi kebutuhan akan warga negara. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi produksi beras di Indonesia salah satunya adalah peralihan lahan sawah menjadi sektor industri dan perumahan. Khususnya di Semarang peralihan lahan sawah terjadi begitu cepat karena meningkatnya kebutuhan lahan untuk hidup dan industri. *Monitoring* dan pengkajian akan lahan sawah perlu dilakukan agar mengetahui tindakan apa yang diperlukan untuk meningkatkan produksi beras. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah dengan melakukan kombinasi pengamatan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*, *Global Positioning System (GPS)* dan data ketinggian padi di lapangan menggunakan meteran. Hal ini dilakukan dengan cara menganalisis perbedaan atau selisih tinggi tanaman padi dengan menggunakan *Digital Elevation Model (DEM)* yang memiliki tinggi reduksi dari ketinggian geodetik ke tinggi orthometrik. Pembentukan data DEM tersebut didapat dari data foto udara yang diolah menggunakan prinsip fotogrametri, yang kemudian dikonversi kedalam bentuk pointclouds dan kemudian menjadi data DEM yang memiliki tinggi berdasarkan EGM 2008. Hasil dari pengolahan data dilakukan validasi menggunakan metode meteran untuk mengetahui selisih tinggi tanaman yang sebenarnya. Hasil dari penelitian ini menunjukkan perbedaan tinggi rata-rata tanaman padi sebesar 0.099 m dengan tinggi kenyataan. Hasil DEM tersebut dapat dikategorikan pada *Level of Detail (LOD) 3*. Namun untuk visualisasi dapat dikategorikan pada *Level of Detail (LOD) 2*, karena bentuk 3D bangunan besar dan kecil sudah dapat dibedakan, serta vegetasi sudah padat dipetakan.

Kata Kunci : DSM, DTM, Tinggi Padi, dan EGM 2008.

ABSTRACT

Rice is one of the main basic needs to fulfill the food needs. Especially in Indonesia rice is one of the staple foods that is needed by the people. However, rice production in Indonesia still couldn't suffice the needs of the nation. There are some factors that influence the rice production in Indonesia, one of them is land use change from rice paddy cultivation to industrial sector and housing. Semarang in particular, the land use change from rice paddy occurs fast because the raising needs of lands for living and industry. Monitoring and further study of rice paddy fields have to be done to find out the solution to increase rice production. One of the solution is applying the vegetation heights used the combination methods of *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*, *Global Positioning System (GPS)* and the field elevation using tape measures. It is completed by analyzing the difference or the deviation of paddy's height using *Digital Elevation Model (DEM)* that has reduction height from geodetic height to orthometric height. DEM data is obtained from aerial images that are processed using photogrammetry principals which are the converted into point clouds and then becomes DEM with height that based on EGM 2008. Results from the data processing are then validated using tape measures to find out difference of the vegetation's actual height in field. The results in this research show that the average height difference of the paddy s 0.099 m to the actual height. The DEM result can be categorized in to *Level of Detail (LOD) 3*. But in visualization, it can be categorized into *Level of Detail (LOD) 2*, therefore the 3D form of big and small building can be differentiate also the vegetation can be mapped.

Keywords : DSM, DTM, Paddy's height and EGM 2008.

^{*)}Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2012 tentang pangan, kebutuhan akan pangan merupakan hak mendasar bagi setiap penduduk Indonesia, sehingga ketersediaan dan keterjangkauan terhadap pangan yang bermutu dan bergizi seimbang menjadi sangat fundamental. Pangan disini adalah berbagai macam komoditi seperti padi, jagung, kedelai, gula dan daging. Penelitian ini akan membahas tentang salah satu komoditi yaitu padi. Hampir semua penduduk desa pasti mempunyai tanah yang digunakan sebagai sawah untuk mencari nafkah serta membantu negara dalam swasembada padi.

Mendata lahan sawah merupakan salah satu upaya pemerintah agar tercapainya swasembada beras di Indonesia. Pendataan lahan sawah di Kota Semarang sendiri masih menggunakan cara yang konvensional yaitu dengan survei di tiap-tiap daerah. Oleh karena itu untuk mempermudah dalam tercapainya swasembada beras maka diperlukan kajian penelitian mengenai cara pemantauan parameter yang digunakan dalam evaluasi, supaya lebih cepat, lebih mudah dan lebih efisien. Diantaranya yang dapat dilakukan adalah menganalisis waktu produksi padi menggunakan model 3D pada *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV).

Metode UAV adalah metode fotogrametri menggunakan wahana yang dioperasikan dengan cara kendali jarak jauh, semi-otomatis atau otomatis, tanpa pilot yang duduk dalam wahana. pada wahana juga bisa diberikan sistem kamera termal atau inframerah, sistem LIDAR udara (Eisenbeiss, 2009). Selain menggunakan metode UAV cara yang lebih efisien memakai citra satelit namun dalam cakupan lahan yang luas karena resolusi spasial dari citra yang relatif besar. Metode lain yaitu metode LiDAR namun metode membutuhkan biaya yang sangat mahal, kemungkinan untuk menggunakan metode sangat kecil karena perbandingan input dan output dari metode ini.

UAV bisa digunakan untuk memantau pertumbuhan padi serta tinggi tanaman padi. Selain itu digunakan untuk menentukan produktivitas padi, tetapi perangkat UAV harus memiliki komponen kamera multispektral sehingga dapat mengetahui tanaman mana saja yang memiliki produksi yang tinggi. Penelitian ini tidak menggunakan kamera multispektral, jadi tidak memungkinkan untuk menganalisis parameter produktivitas dari tanaman padi.

Penelitian ini akan lebih banyak menyanggung tentang model permukaan digital (3D) yang dihasilkan dari UAV dan akan di analisis dengan data pengukuran di lapangan. Dengan metode UAV yang memiliki resolusi spasial yang mencapai centimeter akan menjadi metode yang efisien dikarenakan luas lahan yang relatif kecil sehingga hasil yang didapatkan berbanding lurus atau malah bisa lebih.

Pentingnya penelitian ini sebagai salah satu solusi untuk Kementerian Pertanian RI dalam penyediaan basis data pertanian yang lebih efisien dan cepat dalam pengolahan datanya. Selain itu juga bisa menjadi

inovasi bagi Kementerian Pertanian RI dalam penyediaan basis datanya ditambahkan tampilan model 3D dari setiap wilayah yang dilakukan penelitian.

I.2. Rumusan Masalah

1. Berapa ketelitian rata-rata tinggi model 3D UAV ?
2. Bagaimana ketelitian tinggi DEM dari UAV menggunakan EGM 2008

I.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui ketelitian model 3D yang dibentuk.
2. Mengetahui ketelitian tinggi DEM dari UAV menggunakan EGM 2008.

I.4. Batasan Masalah

Pembatasan masalah dilakukan supaya penelitian tidak melebar dari topik utama dari permasalahan. Penelitian ini akan dibatasi pada hal – hal berikut :

1. Penelitian ini ditentukan jumlah GCP yang digunakan adalah 5 GCP dengan pola menyebar.
2. Luas lokasi penelitian adalah sebagian lahan sawah di Kelurahan Kramas seluas 14 hektar dengan kondisi sawah Homogen.
3. Pengambilan data multitemporal untuk foto udara UAV adalah secara berkala 3 kali pengambilan foto.
4. Tinggi pada penelitian ini menggunakan reduksi dari EGM 2008.

I.5. Ruang Lingkup Penelitian

Area studi penelitian ini adalah beberapa lahan sawah seluas 14 hektar yang berada di Kelurahan Kramas, Tembalang, Semarang. Pada area studi ini memiliki variasi jenis padi yang heterogen. Berikut **Gambar 1** merupakan visualisasi dari wilayah penelitian.

Gambar 1. Lokasi Penelitian



I.6. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan data penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Alat

- a. Drone DJI Phantom 4
- b. GPS Geodetik
- c. Premark GCP
- d. Laptop
- e. Software Topcon Tools
- f. Software Pix4DMapper
- g. Software Pix4DCapture
- h. Software Global Mapper
- i. Software Ms. Word

2. Bahan

- a. Foto Udara UAV
- b. Data GPS CORS Undip
- c. Data GPS GCP
- d. Data Tinggi Padi
- e. Data Kuisisioner

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Padi dan Fase Pertumbuhan

Padi (bahasa latin: *Oryza sativa L.*) merupakan salah satu tanaman budidaya yang sangat penting. Meskipun terutama mengacu pada jenis tanaman budidaya, padi juga digunakan untuk mengacu pada beberapa jenis dari marga (genus) yang sama, yang biasa disebut sebagai padi liar. Padi diduga berasal dari India atau Indocina dan masuk ke Indonesia dibawa oleh nenek moyang yang migrasi dari daratan Asia sekitar 1500 SM.

Tanaman padi memiliki 3 fase pertumbuhan yaitu pertama fase vegetatif, fase reproduktif dan fase pematangan (Makarim dan Suhartatik, 2009). Fase vegetatif adalah fase awal sampai fase pembentukan bakal *primordia*, berlangsung selama 45 hari. Sedangkan fase reproduktif yang berlangsung selama 35 hari adalah fase dimana proses *primordia* menuju tahap pembungaan dan fase pematangan berlangsung 30 hari merupakan fase dimana padi mulai matang dan sampai menjadi gabah.

II.2. UAV Fotogrametri

UAV fotogrametri adalah metode fotogrametri menggunakan wahana / media / platform yang beroperasi dengan cara di kendalikan dari jarak jauh, semi-otomatis atau otomatis, tanpa pilot duduk dalam wahana. pada wahana juga bisa diberikan sistem kamera termal atau inframerah, sistem LIDAR udara (Eisenbeiss, 2009).

UAV standar saat ini sudah bisa dianggap sebagai alat ukur baru, memungkinkan untuk digunakan dalam proses pengambilan data geospasial, dengan spesifikasi yang mencukupi dan kamera yang memiliki resolusi yang bagus sudah bisa untuk melakukan pemotretan udara. Selain itu juga ditambahkan perangkat lunak yang memadai UAV sudah menjadi alternatif yang menggoda bagi perusahaan geospasial. Berikut **Tabel 1** Perbedaan foto udara, *Close range* fotogrametri, dan UAV fotogrametri

Tabel 1 Perbedaan UAV fotogrametri dengan *aerial* dan *close range* fotogrametri

	<i>Aerial</i>	<i>Close Range</i>	UAV <i>Photogrammetry</i>
Perencanaan	Semi Otomatis	Manual	Otomatis
Akuisisi data	Manual	Otomatis	Otomatis
Cakupan Area	km ²	mm ² - m ²	m ² - km ²
Resolusi	cm - m	mm - dm	mm - cm
Jarak Objek	100 m - 10 km	cm - 300 m	m - km
Orientasi Kamera	Normal, terbaru bisa miring	Normal / miring	Normal / miring
Akurasi	cm - dm	mm - m	cm - 10 m
Banyaknya <i>Scanning</i>	10 - 1000	1 - 500	1 - 1000
Aplikasi dan Ciri-ciri	Area luas (pemetaan hutan, glasiologi, dan 3d city modeling)	Area kecil dan objek (Arkeologi, 3D bangunan)	Area kecil dan luas (Arkeologi, pemantauan bencana, 3D bangunan)
	-	Arsitektural dan industrial fotogrametri	Dapat dipalikasiikan pada tmpat yang sulit diakses
	Tampak atas	Penampakan terestris	Tampak atas
-	-	-	<i>Monitoring / Kebutuhan real-time</i>

II.3. DEM (*Digital Elevation Model*)

Digital Elevation Model atau yang sering disebut dengan DEM memiliki beberapa pengertian yang pada dasarnya memiliki arti yang sama. DEM adalah data *digital* yang menggambarkan geometri dari bentuk permukaan bumi atau bagiannya yang terdiri dari himpunan titik-titik koordinat hasil sampling dari permukaan dengan algoritma yang mendefinisikan permukaan tersebut menggunakan himpunan koordinat (Tempfli, 1991). Model DEM ini bisa dibentuk berdasarkan titik-titik koordinat yang kemudian dihubungkan dengan segitiga tidak beraturan yang mempunyai *texture*, sehingga dapat merepresentasikan permukaan objek yang dimodelkan.

DEM terbagi menjadi dua yaitu DSM dan DTM. *Digital Terrain Model* (DTM) merupakan gambaran permukaan *digital* dari permukaan tanah tanpa ada bangunan di atasnya. Sedangkan dengan *Digital Surface Model* (DSM) merupakan permukaan *digital* yang merepresentasikan permukaan bumi beserta bangunan dan pohon di atas permukaan tanah.

II.4. LoD

Level of Detail (LoD) adalah konsep dalam pemodelan 3D yang digunakan untuk menentukan derajat keabstrakan dari objek nyata, seperti aspek komputasi, ekonomis, serta jumlah detail optimal objek (Biljecki, 2013). Adapun ketiga aspek seperti komputasi, ekonomis, dan detail objek juga harus disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Berikut **Tabel 2** Kriteria LoD (Pranata dan Cahyono, 2016)

Tabel 2 Kriteria LoD

	LoD1	LoD2	LoD3	LoD4
Deskripsi skala model	Kota, Regional	Distrik dalam kota	Model arsitektur (eksterior), landmark	model arsitektur termasuk interior
Kelas Akurasi	Rendah	Menengah	Tinggi	Sangat tinggi
Akurasi Posisi	5 meter	2 meter	0.5 meter	0.2 meter
Generalisasi	berukuran > 6 x 6 meter	berukuran > 4 x 4 meter	objek sebagai fitur nyata > 2 x 2 meter	elemen konstruktif ditampilkan
Instalasi bangunan	-	-	efek visual eksterior representatif	objek dalam ukuran sebenarnya
Struktur	datar	tipe dan orientasi	sesuai bentuk objek sebenarnya	sesuai bentuk objek sebenarnya

II.5. Transformasi Tinggi

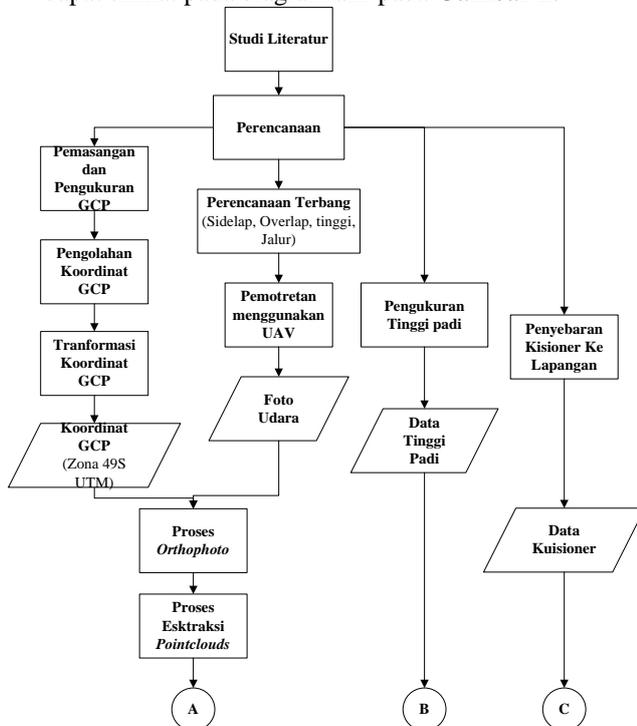
Untuk keperluan teknis, data tinggi yang digunakan adalah tinggi orthometrik. Sedangkan data tinggi yang didapatkan dari pengukuran GNSS ini adalah tinggi elipsoid. Untuk mengkonversi tinggi elipsoid ke tinggi orthometrik perlu diketahui nilai undulasi. Apabila nilai undulasi telah diketahui persamaan dibawah ini digunakan untuk mencari tinggi orthometrik (Karney, 2014)

$$H = h - N$$

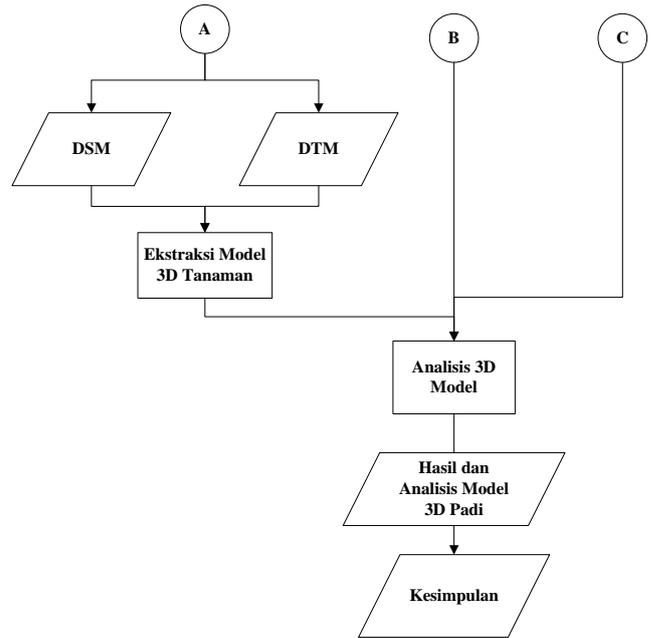
Tinggi orthometrik ini sangat penting dan banyak digunakan pada keperluan teknis seperti *cut and fill*, analisis kemiringan suatu daerah, dll.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Sebagai gambaran umum tahapan pengolahan dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram alir



Gambar 2 Diagram alir (lanjutan)

III.1. Data Penelitian

1. Foto Udara UAV
2. Data GPS CORS Undip
3. Data GPS GCP
4. Data Tinggi Padi
5. Data Kusioner

III.2. Akuisisi Data

III.2.1. Akuisisi data foto udara

Pada akuisisi foto udara ada beberapa alat dan bahan yang perlu dipersiapkan seperti *Drone* beserta kelengkapannya, *smartphone* dan *marker GCP*. Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data sebanyak 3 kali, yaitu pada 14 Juli 2017, 29 Agustus 2017, dan 14 Januari 2018. Dimana ketiga data akan dilakukan analisis ketinggian dari tanaman padi. Berikut Tabel 3 gambaran jalur terbang setiap foto.

Tabel 3 Jalur terbang setiap foto

Jalur Terbang/Kala	Parameter	Gambar Jalur Terbang
Jalur Terbang 1/Kala 1	Sidelap : 70% Overlap : 70% Altitude : 80 m	
Jalur Terbang 2/Kala 1	Sidelap : 70% Overlap : 70% Altitude : 80 m	

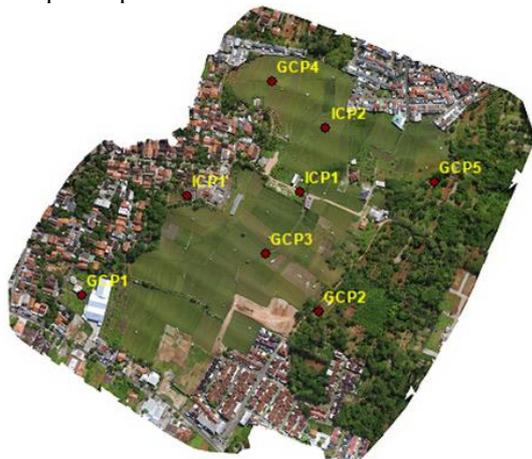
Tabel 3 Jalur terbang setiap foto (lanjutan)

Jalur Terbang 1/Kala 2	Sidelap : 70% Overlap : 70% Altitude : 80 m	
Jalur Terbang 2/Kala 2	Sidelap : 70% Overlap : 70% Altitude : 80 m	
Jalur Terbang 1/Kala 3	Sidelap : 70% Overlap : 70% Altitude : 80 m	
Jalur Terbang 2/Kala 3	Sidelap : 70% Overlap : 70% Altitude : 80 m	

Tahapan akuisisi foto udara ini dilakukan dengan mengkalibrasi UAV beserta kamera UAV, setelah itu mengisikan parameter *sidelap*, *overlap*, dan *altitude*.

III.2.2. Akuisisi koordinat GCP

Pada akuisisi koordinat GCP ada beberapa alat dan yang perlu dipersiapkan seperti GPS geodetik, tripod, dan meteran. Pada penelitian ini ada 5 titik GCP dan 2 titik ICP dengan pola menyebar seperti yang ditampilkn pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Sebaran GCP dan ICP

Pada penelitian ini akuisisi koordinat GCP dan ICP dilakukan dengan metode pengamat statik dengan lama pengamatan satu jam. Metode pengolahan yang diguakan dengan metode radial.

III.3. Tahapan pembentukan DSM dan DTM

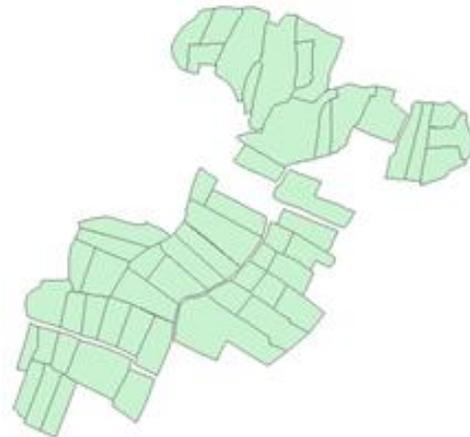
Pada tahapan ini dibentuk DSM dari *pointclouds* yang didapat dari orthofoto yang sudah dilakukan rektifikasi dan *optimizing cameras*. Dari data DSM ini akan dilakukan *overlay* dengan data DTM. Sehingga membentuk model 3D tanaman padi.

Data DTM disini dibentuk dari *pointclouds* yang sudah dilakukan proses *filtering* untuk mendapatkan *bare earth* atau permukaan permukaan tanah. Pada proses pembentukan DSM dan DTM ini dilakukan menggunakan *software* Global Mapper.

III.4. Pembentukan model 3D tanaman padi

Pembentukan model 3D tanaman padi juga menggunakan *software* Global Mapper. Metode yang digunakan untuk membentuk model 3D adalah dengan *overlay* data DSM dan data DTM yang diperoleh dari *pointscloids*. Metode *overlay* ini meliki prinsip pengurangan data ketinggian, sehingga dihasilkan data model tinggi tanaman saja. Namun pada data tinggi tanaman ini masih memiliki bentuk pepohonan lainya dan bangunan.

Karena masih memiliki bentuk bangunan dan pepohonan, agar membentuk model 3D tanaman padi perlu dilakukan pemotongan sesuai dengan *shapefile* tutupan lahan sawah. Berikut **Gambar 4** adalah *shapefile* tutupan lahan sawah pada penelitian ini.



Gambar 4 Shp tanaman padi

IV. Hasil dan Analisis

IV.1. Hasil dan analisis akuisisi koordinat GCP

Koordinat pengolahan data GPS titik GCP dan ICP merupakan hasil dari penggabungan data pengukuran di lapangan berdasarkan data base CORS UDIP dengan metode radial. Berikut pada **Tabel 4** adalah hasil koordinat definitif pengolahan data GPS tersebut.

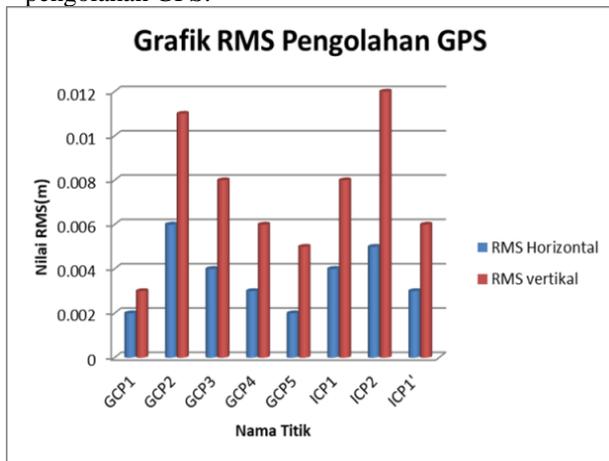
Tabel 4 Koordinat Definitif Pengolahan

No	Titik	Koordinat definitive		
		X(m)	Y(m)	Z(m)
1	GCP1	9218463.44	438174.802	225.019
2	GCP2	9218435.814	438571.572	226.077

Tabel 4 Koordinat Definitif Pengolahan (lanjutan)

No	Titik	Koordinat definitif		
		X(m)	Y(m)	Z(m)
3	GCP3	9218533.213	438481.803	222.741
4	GCP4	9218822.55	438492.227	225.102
5	GCP5	9218654.065	438762.884	225.335
6	ICP1	9218636.434	438538.693	223.304
7	ICP2	9218744.144	438582.574	222.095
8	ICP1'	9218630.311	438352.055	224.918

Selain koordinat definitif, didapatkan data kontrol kualitas berupa data RMS untuk mengetahui kualitas data pengolahan GPS secara horizontal maupun vertikal. Nilai RMS dari hasil pengolahan dapat dilihat pada **Gambar 5** Grafik RMS vertikal dan horizontal pengolahan GPS.



Gambar 5 Grafik RMS vertikal dan horizontal

Berdasarkan hasil RMS horizontal yang diperoleh, RMS horizontal terendah terdapat pada titik GCP01 dan GCP05 yakni sebesar 0.002 m dan RMS tertinggi terjadi pada titik GCP02 yakni sebesar 0.006 m. Rata-rata RMS horizontal keseluruhan titik GCP dan ICP adalah sebesar 0.0036 m. Sedangkan berdasarkan hasil RMS vertikal yang diperoleh, RMS vertikal terendah terdapat pada titik GCP01 yakni sebesar 0.003 m dan RMS tertinggi terdapat pada titik ICP02 yakni sebesar 0.012 m. Rata-rata RMS vertikal keseluruhan titik GCP dan ICP adalah sebesar 0.0073 m.

Besarnya RMS ini dipengaruhi oleh faktor kondisi wilayah pengukuran yang memiliki banyak obstruksi seperti rumah, tiang listrik dan pepohonan sehingga mengganggu atau menghambat pancaran sinyal dari satelit ke *receiver*.

IV.2. Hasil dan Analisis Orthofoto

Hasil pembentukan orthofoto pada penelitian ini memiliki 3 kala waktu foto udara. Setiap foto memiliki hasil yan berbeda-beda. Berikut merupakan penjelesaian hasil orthofoto setiap kala waktu. Selain kaitannya dengan tinggi terbang dan resolusi kamera, hasil resolusi orthofoto yang baik juga terkait pada hasil RMSE titik GCP pengolahan foto udara UAV.

IV.2.1. Hasil dan analisis orthofoto kala pertama

Berikut adalah hasil dari pembentukan orthofoto kala pertama yang didapat dari proses pengolahan foto udara, dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6 Orthofoto kala pertama

Menurut hasil *report* dari *software* Pix4DMapper, orthofoto dari **Gambar 6** di atas terbentuk dari 529 buah foto dengan luas area tercakup sebesar 43.136 ha. Tinggi rata-rata dari proses akuisisi foto udara ini adalah sebesar 80 m. Berdasarkan tinggi terbang rata-rata pada saat pengambilan data dengan kamera DJI Phantom 4 maka resolusi spasial yang didapatkan adalah sebesar 3.25 cm/piksel. Berikut **Tabel 5** dan **Tabel 6** merupakan tabel *error* pada kala pertama.

Tabel 5 RMS horizontal foto kala pertama

Titik	DX	DY	DX ²	DY ²	DX ² +DY ²
GCP1	0.0150	-0.0450	0.0002	0.0020	0.0023
GCP2	-0.0360	-0.0090	0.0013	0.0001	0.0014
GCP3	-0.0360	-0.0080	0.0013	0.0001	0.0014
GCP4	0.0870	0.0220	0.0076	0.0005	0.0081
GCP5	-0.0270	0.0380	0.0007	0.0014	0.0022
Jumlah					0.0152
RMSE(m)					0.0552

Tabel 6 RMS vertikal kala pertama

Titik	DZ	DZ ²
GCP1	-0.0070	0.0000
GCP2	-0.0020	0.0000
GCP3	0.0040	0.0000
GCP4	0.0110	0.0001
GCP5	0.0030	0.0000
Jumlah		0.0002
RMSE(m)		0.0063

Tabel diatas menunjukkan bahwa perbandingan antara nilai pengukuran GCP di lapangan dengan ukuran foto udara tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. RMS error dari foto udara kala pertama sebesar 0,05516 m, dan 0.00631 m terhadap hasil pengukuran di lapangan.

IV.2.2. Hasil dan analisis orthofoto kala kedua

Berikut adalah hasil dari pembentukan orthofoto kala pertama yang didapat dari proses pengolahan foto udara, dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7 Orthofoto kala kedua

Menurut hasil *report* dari *software* Pix4DMapper, Orthofoto dari **Gambar 7** di atas terbentuk dari 369 buah foto dengan luas area tercakup sebesar 43.136 ha. Tinggi rata-rata dari proses akuisisi foto udara ini adalah sebesar 80 m. Berdasarkan tinggi terbang rata-rata pada saat pengambilang data dengan kamera DJI Phantom 4 maka resolusi spasial yang didapatkan adalah sebesar 3.07 cm/piksel. Berikut **Tabel 7** dan **Tabel 8** merupakan tabel *error* pada kala kedua.

Tabel 7 RMS horizontal kala kedua

Titik	DX	DY	DX ²	DY ²	DX ² +DY ²
GCP1	0.0230	-0.0410	0.0005	0.0017	0.0022
GCP2	-0.0620	-0.0230	0.0038	0.0005	0.0044
GCP3	-0.0310	-0.0250	0.0010	0.0006	0.0016
GCP4	0.0970	0.0250	0.0094	0.0006	0.0100
GCP5	-0.0290	0.0650	0.0008	0.0042	0.0051
Jumlah					0.0233
RMSE(m)					0.0682

Tabel 8 RMS vertikal kala kedua

Titik	DZ	DZ ²
GCP1	-0.0030	0.0000
GCP2	0.0000	0.0000
GCP3	0.0000	0.0000
GCP4	-0.0070	0.0000
GCP5	0.0030	0.0000
Jumlah		0.0001
RMSE(m)		0.0037

Tabel diatas menunjukkan bahwa perbandingan antara nilai pengukuran GCP di lapangan dengan ukuran foto udara tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. RMS *error* dari foto udara kala pertama sebesar 0.068219 m, dan 0.00366 m terhadap hasil pengukuran di lapangan.

IV.2.3. Hasil dan analisis orthofoto kala ketiga

Berikut adalah hasil dari pembentukan orthofoto kala pertama yang didapat dari proses pengolahan foto udara, dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8 Orthofoto kala ketiga

Menurut hasil *report* dari *software* Pix4DMapper, Orthofoto dari **Gambar 8** di atas terbentuk dari 476 buah foto dengan luas area tercakup sebesar 43.136 ha. Tinggi rata-rata dari proses akuisisi foto udara ini adalah sebesar 80 m. Berdasarkan tinggi terbang rata-rata pada saat pengambilang data dengan kamera DJI Phantom 4 maka resolusi spasial yang didapatkan adalah sebesar 3.10 cm/piksel. Berikut **Tabel 9** dan **Tabel 10** merupakan tabel *error* pada kala ketiga.

Tabel 9 RMS horizontal kala ketiga

Titik	DX	DY	DX ²	DY ²	DX ² +DY ²
GCP1	-0.0060	0.0140	0.0000	0.0002	0.0002
GCP2	0.0370	-0.0020	0.0014	0.0000	0.0014
GCP3	-0.0140	0.0080	0.0002	0.0001	0.0003
GCP4	-0.0160	-0.0100	0.0003	0.0001	0.0004
GCP5	0.0020	-0.0110	0.0000	0.0001	0.0001
Jumlah					0.0023
RMSE(m)					0.0217

Tabel 10 RMS vertikal kala ketiga

Titik	DZ	DZ ²
GCP1	0.0000	0.0000
GCP2	-0.0160	0.0003
GCP3	0.0110	0.0001
GCP4	-0.0010	0.0000
GCP5	0.0030	0.0000
Jumlah		0.0004
RMSE(m)		0.0088

Tabel diatas menunjukkan bahwa perbandingan antara nilai pengukuran GCP di lapangan dengan ukuran foto udara tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. RMS *error* dari foto udara kala pertama sebesar 0.021661 m, dan 0.0088 m terhadap hasil pengukuran di lapangan.

IV.3. Analisis dan ketelitian orthofoto dan DEM

Hasil dan analisis ketelitian foto udara digunakan untuk mengetahui kualitas dari orthofoto yang dibentuk dari hasil pengolahan. Berikut adalah hasil RMSE secara horizontal maupun vertikal titik ICP yang dijelaskan pada **Tabel 11** sampai **Tabel 16**.

Tabel 11 RMS horizontal ICP kala pertama

Titik	DX	DY	DX ²	DY ²	DX ² +DY ²
ICP1	-0.0114	-0.0040	0.0001	0.0000	0.0001
ICP2	0.0508	0.0375	0.0026	0.0014	0.0040
				Jumlah	0.0041
				RMSE(m)	0.0455

Tabel 12 RMS vertikal ICP kala pertama

Titik	DZ	DZ ²
ICP1	0.0004	0.0000
ICP2	0.0380	0.0014
	Jumlah	0.0014
	RMSE(m)	0.0269

Tabel 11 dan **Tabel 12** merupakan ICP hasil dari pemrosesan foto udara pada kala pertama yang memiliki nilai RMS sebesar 0.0455 m pada ICP horizontal dan 0.0269 m pada ICP vertical.

Tabel 13 RMS horizontal ICP kala kedua

Titik	DX	DY	DX ²	DY ²	DX ² +DY ²
ICP1	0.0101	0.0024	0.0001	0.0000	0.0001
ICP2	0.0037	0.0037	0.0000	0.0000	0.0000
				Jumlah	0.0001
				RMSE(m)	0.0082

Tabel 14 RMS vertikal ICP kala kedua

Titik	DZ	DZ ²
ICP1	-0.0061	0.0000
ICP2	0.0332	0.0011
	Jumlah	0.0011
	RMSE(m)	0.0239

Tabel 13 dan **Tabel 14** merupakan ICP hasil dari pemrosesan foto udara pada kala kedua yang memiliki nilai RMS sebesar 0.0082 m pada ICP horizontal dan 0.0239 m pada ICP vertikal. Namun pada koordinat ICP pada pemotretan ke tiga memiliki ICP yang lumayan besar di banding dengan foto kala pertama dan kala kedua.

Tabel 15 RMS horizontal ICP kala ketiga

Titik	DX	DY	DX ²	DY ²	DX ² +DY ²
ICP1	-0.0530	0.0364	0.0028	0.0013	0.0041
ICP2	-0.0004	0.0066	0.0000	0.0000	0.0000
				Jumlah	0.0042
				RMSE(m)	0.0457

Tabel 16 RMS vertikal ICP kala ketiga

Titik	DZ	DZ ²
ICP1	-0.0867	0.0075
ICP2	0.0217	0.0005
	Jumlah	0.0080
	RMSE(m)	0.0632

Tabel 15 dan **Tabel 16** merupakan ICP hasil dari pemrosesan foto udara pada kala ketiga yang memiliki nilai RMS sebesar 0.0457 m pada ICP horizontal dan 0.0632 m pada ICP vertical.

Tabel 16 Tabel ketelitian orthofoto

Kelas	Foto 1 (cm)	Foto 2 (cm)	Foto 3 (cm)
I	1.625	1.535	1.550
II	3.250	3.070	3.100
III	4.875	4.605	4.650
RMS Hitung	1.987	2.185	1.154

Ketelitian horizontal pada foto kala pertama dan kala kedua terdapat pada ketelitian kelas II yaitu memiliki nilai RMS hitung lebih kecil dari 3 cm sedangkan pada foto kala ketiga terdapat pada kelas I yaitu memiliki RMS hitung lebih kecil dari 1.5 cm.

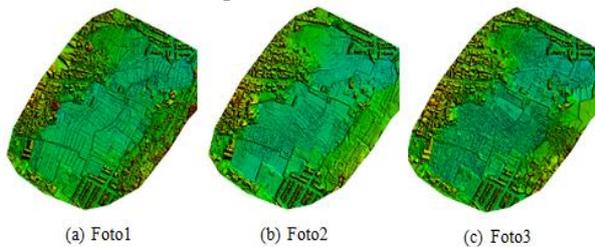
IV.4. Analisis Model 3D Tanaman Padi

Pada penelitian ini melakukan pengkajian tanaman padi yang tampilan secara 3D melalui metode fotogrametri. Untuk mengetahui apakah model 3D yang dibentuk sesuai dengan kenyataan maka dilakukan analisis visualisasi sesuai dengan *level of detail* (LoD) serta analisis geometri ketinggian tanaman dengan melakukan perbandingan tinggi tanaman padi dari lapangan dengan tinggi tanaman yang diperoleh dari model 3D yang dibentuk. **Tabel 17** merupakan 20 sampel tinggi masing-masing foto yang diambil di lapangan dan model 3D.

Tabel 17 Perbedaan Tinggi padi

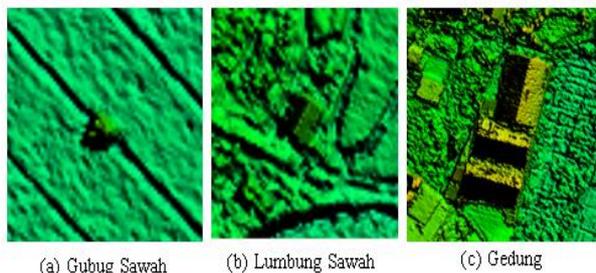
No	Foto1 (m)			Foto2 (m)			Foto3 (m)		
	H Lapangan	H Model	dH	H Lapangan	H Model	dH	H Lapangan	H Model	dH
1	0.920	0.896	0.024	0.410	0.308	0.102	0.640	0.615	0.025
2	0.850	0.820	0.030	0.480	0.508	-0.028	0.610	0.561	0.049
3	0.960	1.064	-0.104	0.300	0.143	0.157	0.730	0.765	-0.035
4	0.740	0.672	0.068	0.290	0.249	0.041	0.620	0.674	-0.054
5	0.720	0.603	0.117	0.410	0.375	0.035	0.640	0.467	0.173
6	0.950	1.019	-0.069	0.280	0.122	0.158	0.590	0.669	-0.079
7	0.730	0.711	0.019	0.280	0.194	0.086	0.560	0.591	-0.031
8	0.750	0.582	0.168	0.300	0.226	0.074	0.650	0.592	0.058
9	0.880	0.802	0.078	0.450	0.472	-0.022	0.820	0.771	0.049
10	0.850	0.721	0.129	0.580	0.652	-0.072	0.840	0.798	0.042
11	0.740	0.441	0.299	0.300	0.193	0.107	0.690	0.797	-0.107
12	0.820	0.758	0.062	0.570	0.450	0.120	0.720	0.696	0.024
13	0.800	0.616	0.184	0.460	0.415	0.045	0.760	0.724	0.036
14	0.860	0.771	0.089	0.460	0.579	-0.119	0.830	0.797	0.033
15	0.720	0.695	0.025	0.480	0.440	0.040	0.690	0.783	-0.093
16	0.800	0.840	-0.040	0.370	0.335	0.035	0.720	0.816	-0.096
17	0.720	0.454	0.266	0.320	0.260	0.060	0.630	0.789	-0.159
18	0.750	0.559	0.191	0.360	0.306	0.054	0.620	0.712	-0.092
19	0.820	0.781	0.039	0.520	0.474	0.046	0.730	0.695	0.035
20	0.950	1.098	-0.148	0.300	0.364	-0.064	0.670	0.582	0.088
	RMSe		0.133	RMSe		0.084	RMSe		0.080

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa RMS kesalahan dari tinggi tanaman padi pada masing-masing model 3D terhadap pengukuran dilapangan yang berbeda adalah foto1 sebesar 0.133 m, foto2 sebesar 0.084 m, dan foto3 sebesar 0.080 m. RMS kesalahan tertinggi terdapat pada foto1 sedangkan RMS terendah pada foto3. Selisih tinggi tanaman tertinggi terdapat pada titik nomor 11 foto1 dengan simpangan kesalahan sebesar 0.229 m dan Selisih tinggi tanaman terendah terdapat pada titik nomor 7 foto1 dengan simpangan kesalahan sebesar 0.019. Berikut **Gambar 9** visualisasi model 3D tanaman padi.



Gambar 9 Visualisasi model 3D tanaman padi

Dari visualisasi diatas model 3D tanaman padi dapat disimpulkan bahwa model 3D masing-masing foto tersebut tergolong pada LoD 2, karena tiap masing-masing model atap tiap bangunan atau rumah sudah dapat dibedakan antara bangunan besar dan kecil seperti gubug sawah, selain itu vegetasi juga sudah dapat ditampilkan seperti tanaman padi dan pohon-pohon besar. . Berikut **Gambar 10** perbedaan bangunan besa dan kecil.



Gambar 10 Perbedaan bangunan besar dan kecil

Analisis geometri ketinggian tanaman padi disimpulkan bahwa model 3D yang dibentuk memenuhi syarat geometri ketinggian pada LoD 3. Perbedaan LoD visualisasi dan LoD geometri ketinggian disebabkan karena pada penelitian ini membentuk model 3D tidak secara detail. Untuk membentuk 3D secara detail diperlukan pointclouds yang banyak serta pertampalan foto yang banyak.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Berdasarkan analisis model 3D tanaman padi yang diperoleh dari foto udara UAV didapat kesimpulan dalam pembentukan model tanaman padi diperlukan data DEM dan DTM.
 - a. Model 3D yang dibentuk secara visual dikelaskan pada LoD 2 dikarenakan tiap model memiliki visual atap bangunan atau rumah sudah

dapat dibedakan antara bangunan besar dan kecil, serta vegetasi dapat dipetakan.

- b. Secara geometri model 3D yang dibentuk termasuk pada LoD 3 dilihat dari geometri ketinggian karena memiliki geometri ketinggian sebesar 0.133 m, 0.84 m, dan 0.80 m dimana memiliki nilai lebih kecil 0.5 m. Perbedaan LoD visualisasi dan LoD geometri ketinggian disebabkan karena pada penelitian ini membentuk model 3D tidak secara detail. Untuk membentuk 3D secara detail diperlukan *pointclouds* yang banyak serta pertampalan foto yang banyak.
2. Berdasarkan hasil dan analisis model 3D yang dibentuk dimana ketelitian yang didapatkan dari perbandingan tinggi tanaman padi pada model 3D dengan data pengukuran di lapangan. Dimana ketinggian tanaman pada model 3D diperoleh dari reduksi tinggi geodetik ke tinggi orthometrik berdasarkan EGM 2008 didapatkan ketelitian rata-rata sebesar 0.099 m. Dengan ketelitian tersebut penggunaan EGM 2008 untuk mereduksi tinggi masih terpaat besar. Dimana objek yang dibandingkan adalah tanaman padi yang memiliki tinggi maksimal 1 meter.

V.2. Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, dan didapatkan beberapa kesimpulan. Maka dapat dikemukakan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan. Saran dari pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Diperlukan persiapan yang matang baik dari segi materi pengetahuan, persiapan dan perencanaan agar didapatkan hasil akuisisi data yang sesuai harapan.
2. Untuk membentuk 3D yang lebih detail dibutuhkan jalur menyilang dengan jalur terbang utama, agar pertampalan foto lebih banyak.
3. Pada pengamatan GPS, perlu ditentukan secara spesifik titik mana yang akan dilakukan pengukuran, diusahakan daerah yang memiliki mobilitas yang rendah.
4. Diperlukan data pengamatan tinggi tanaman padi yang banyak dan bervariasi agar dapat klasifikasi tinggi dan usia tanaman yang mendetail.
5. Apabila pengolahan data foto udara menggunakan software Pix4Dmapper, maka sebelum melakukan pengambilan data harus membaca buku panduan dari software tersebut karena akan sangat membantu untuk teknik pelaksanaan dari pengambilan data hingga ke pengolahan.
6. Untuk penelitian selanjutnya, perlu dilakukan validasi dengan Total Station untuk mengetahui perbedaan posisi X dan Y yang detail pada titik validasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Biljecki, F. 2013. The Concept of Level Detail in 3D City Models. Delft. OTB Research Institute for The Built Environment.
- Eisenbeiss, H. 2009. UAV Photogrammetry. Zurich : Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
- Karney, C. 2014. Online Geoid Calculations Using GeoidEvalUtility.
<http://geographiclib.sourceforge.net/cgi-bin/GeoidEval>, diakses pada 27 Juli 2017.
- Makarim, A.K dan Suhartatik, E. 2009. Morfologi dan Fisiologi Tanaman Padi. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi
- Pranata, Y. N. dan Cahyono, A. B. 2016. Evaluasi Metode Aerial Videogrametri untuk Rekonstruksi 3D Bangunan. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Tempfli, K. 1991. DTM and Differential Modeling, dalam Suharyadi, R., dkk. 2012. Petunjuk Praktikum Sistem Informasi Geografis : Pedoman Spatial. Yogyakarta : Univesitas Gajah Mada