

TEKNOLOGI DRONE UNTUK PEMBUATAN PETA KONTUR: STUDI KASUS PADA KAWASAN P3SON HAMBALANG

DRONE TECHNOLOGY FOR CONTOUR MAPPING: CASE STUDY AT P3SON HAMBALANG

Samuel Jonson Sutanto^(1,2), Banata Wachid Ridwan⁽¹⁾

- ¹⁾ Balai Sabo, Puslitbang Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jl. Sopalán Maguwoharjo, Depok Sleman, Yogyakarta 55282, Indonesia.
- ²⁾ Hydrology and Quantitative Water Management, Environmental Sciences Group, Wageningen University and Research, Droevendaalsesteeg 3a, 6708 WB, Wageningen, the Netherlands.
E-mail: congexs@yahoo.com

Diterima: 11 Agustus 2016; Direvisi: Agustus 2016; Disetujui: 11 November 2016

ABSTRAK

Dalam melakukan evaluasi dan kajian penanganan P3SON Hambalang, tim PUPR memerlukan data topografi terbaru, akurat, dan terpercaya dalam waktu yang sesingkat-singkatnya. Oleh karena itu tim Balai Litbang Sabo mendapatkan amanat untuk melakukan pengukuran tersebut. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan teknik fotogrametri dari foto udara yang dihasilkan oleh drone. Hasil dari pengukuran tersebut berupa data Digital Surface Model (DSM), Digital Terrain Model (DTM), dan hasil akhir berupa kontur dengan resolusi yang tinggi, yaitu sebesar 5 cm. Waktu yang diperlukan dari pengukuran hingga hasil akhir yang diperoleh yaitu kontur berkisar antara 4-5 hari. Dengan hasil yang mempunyai akurasi tinggi, murah, dan dapat dilakukan dengan waktu yang sesingkat-singkatnya, maka penggunaan drone dalam pembuatan peta topografi akan lebih banyak dimanfaatkan kedepannya. Meskipun demikian, pengukuran dengan menggunakan drone akan mengalami kendala jika digunakan pada sungai non-vulkanik (sungai yang berair). Dasar sungai yang berair tidak dapat terpetakan dengan baik, apalagi pada sungai-sungai yang mengandung tingkat sedimen yang tinggi seperti sungai-sungai di Indonesia pada umumnya.

Kata kunci: Pengukuran topografi, cepat, resolusi tinggi, fotogrametri, drone

ABSTRACT

Fast, reliable, and accurate topography measurement is needed for a study and evaluation of P3SON Hambalang area. Experimental Station for Sabo, therefore, was given a mandate to perform the topography measurement. Measurement has been carried out using photogrammetry technique of remote sensing photos captured by drone. The results of drone measurement are Digital Surface Model (DSM), Digital Terrain Model (DTM), and the final result is a contour map, which have high resolution data of 5 cm. The whole processes starting from field measurement until final results are obtained require around 4 to 5 working days, without any significant obstacles during both measurement and analysis.. Due to the high-resolution result, fast, and cheap, it is foreseen that photogrammetry technique using drone will be used more often in the future for topography measurement. However, drone topography measurements experience a difficulty in the non-volcanic rivers (river with water table). The riverbed cannot be well measured by drone, especially for the rivers with high sediment concentration such in general rivers in Indonesia.

Keywords: Topography measurement, fast, high resolution, photogrammetry, drone

PENDAHULUAN

Dalam rangka penyelamatan aset negara pada proyek Pusat Pendidikan Pelatihan dan Sekolah Olahraga Nasional (P3SON) Hambalang, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) mendapatkan tugas dari Bapak Presiden Republik Indonesia untuk melakukan kajian kelayakan dan pemanfaatan area P3SON Hambalang. Dalam melakukan kajian tersebut, tim yang telah ditunjuk oleh Kementerian PUPR memerlukan data mengenai kondisi topografi terkini (tahun 2016). Oleh karena itu Balai Litbang Sabo mendapatkan tugas untuk melakukan pengukuran topografi detail pada area P3SON. Pengukuran tersebut harus dilakukan secara akurat dan dilaksanakan dalam waktu yang sesingkat-singkatnya. Untuk memenuhi kriteria pengukuran tersebut, maka pengukuran dilakukan dengan menggunakan teknologi drone atau UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*).

Teknologi drone itu sendiri sudah digunakan di berbagai negara bukan hanya untuk mengambil gambar foto udara atau video, namun juga digunakan dalam proses penginderaan jauh (Everaerts, 2008). Pemanfaatan drone ini sejak tahun 2005 hingga 2013 meningkat tiga kali lipat dan meliputi berbagai bidang penggunaan seperti untuk militer, komersial, penelitian, maupun kombinasi dari beberapa bidang (Colomina dan Molina, 2014). Dalam segi aspek keilmuan, teknologi drone ini sudah digunakan di berbagai bidang keilmuan untuk mendukung penelitian, seperti bidang kehutanan (Getzin, dkk., 2012; Koh dan Wich, 2012), pertanian (Diaz-Varela, dkk., 2014), perikanan (Hodgson, dkk., 2013), konservasi satwa (Jones IV, dkk., 2006), pantai (Klemas, 2015), hidrologi (d'Oleire-Oltmanns, dkk., 2012), dan bidang Sabo (Turner, dkk., 2015; Rossi, dkk., 2016).

Untuk pembuatan peta *Digital Elevation Model* (DEM) atau peta topografi, penggunaan drone dengan menggunakan kamera masih belum banyak dimanfaatkan secara luas. Yang lazim digunakan dalam pemetaan adalah drone yang dilengkapi dengan LIDAR (*Light Detection and Ranging*) maupun TLS (*Terrestrial Laser Scanning; Ouédraogo, dkk., 2014*). Teknik yang digunakan dalam pembuatan peta DEM dengan menggunakan kamera drone ini dinamakan *photogrammetry* (Rock, dkk., 2011; Sze, dkk., 2015). Dengan teknik ini maka properti dari geometri suatu obyek yang didapat dari banyak gambar dapat diketahui. Gambar-gambar tersebut harus di tumpang tindihkan satu dengan yang lainnya pada bagian gambar yang sama. Semakin luas daerah yang tumpang tindih, maka hasil yang diperoleh akan semakin akurat.

Dalam makalah ini, dibahas langkah demi langkah bagaimana teknologi drone dapat digunakan untuk membuat peta-peta teknik baik dari peta *Digital Surface Model* (DSM), peta (*Digital Terrain Model*) DTM, dan hasil akhir berupa kontur dengan ketelitian yang tinggi. Pengambilan foto udara dengan drone dilakukan bekerjasama dengan Puslitbang Perbukitan (Puskim), sementara perencanaan, pengolahan data, dan analisa dilakukan oleh Balai Litbang Sabo. Perencanaan dan pengolahan data yang dilakukan adalah membuat perencanaan GCP (*Ground Control Point*) untuk titik ikat, misi Drone untuk menentukan jalur terbang drone, melaksanakan pengukuran dan perhitungan GCP dengan GPS (*Global Positioning Satellite*) Geodetik, dan melakukan *Post-Processing* data atau pengolahan akhir hingga menghasilkan kontur.

Makalah ini akan membahas mengenai persiapan dan kriteria dalam pengambilan foto udara pada bab 2. Pada bab 3 disajikan mengenai pelaksanaan dan pengolahan data dari foto hingga menjadi kontur serta akurasi. Pembahasan hasil dan diskusi dilakukan pada bab 4, dan akhirnya kesimpulan dari makalah ini disajikan pada bab 5.

METODOLOGI

Tahap persiapan untuk pelaksanaan pengukuran meliputi desain misi penerbangan atau jalur penerbangan, dan penentuan lokasi titik-titik GCP yang nantinya akan diukur koordinatnya dan elevasi dari titik-titik tersebut dengan menggunakan GPS Geodetik. Wilayah Hambalang meliputi daerah dengan topografi relatif miring dengan luas $\pm 26,27$ Ha. Untuk daerah dengan kelerengan miring sampai terjal seperti kasus di Hambalang, maka diperlukan GCP yang mewakili tiap perbedaan ketinggian sekaligus merata di setiap wilayah/zona daerah studi yang sebelumnya telah dianalisis terlebih dahulu.

Untuk pekerjaan Hambalang ini kriteria GCP yang diterapkan adalah:

- 1 Merata dan mewakili tiap zona dengan kelerengan yang berbeda.
- 2 Jarak antar GCP berkisar antara 100–200 m.
- 3 GCP terletak di area yang relatif mudah dijangkau, dan bebas dari tutupan vegetasi.
- 4 Tanda GCP (*banner*) dapat terlihat dan terbedakan dari udara dengan ketinggian yang sama dengan tinggi terbang drone.

Dari hasil desain dan analisis penempatan berdasarkan kriteria tersebut diatas, didapatkan titik GCP sejumlah 15 titik yang tersebar di wilayah perekaman (Gambar 1). Analisis penempatan ini dilakukan dengan memperhatikan data kontur

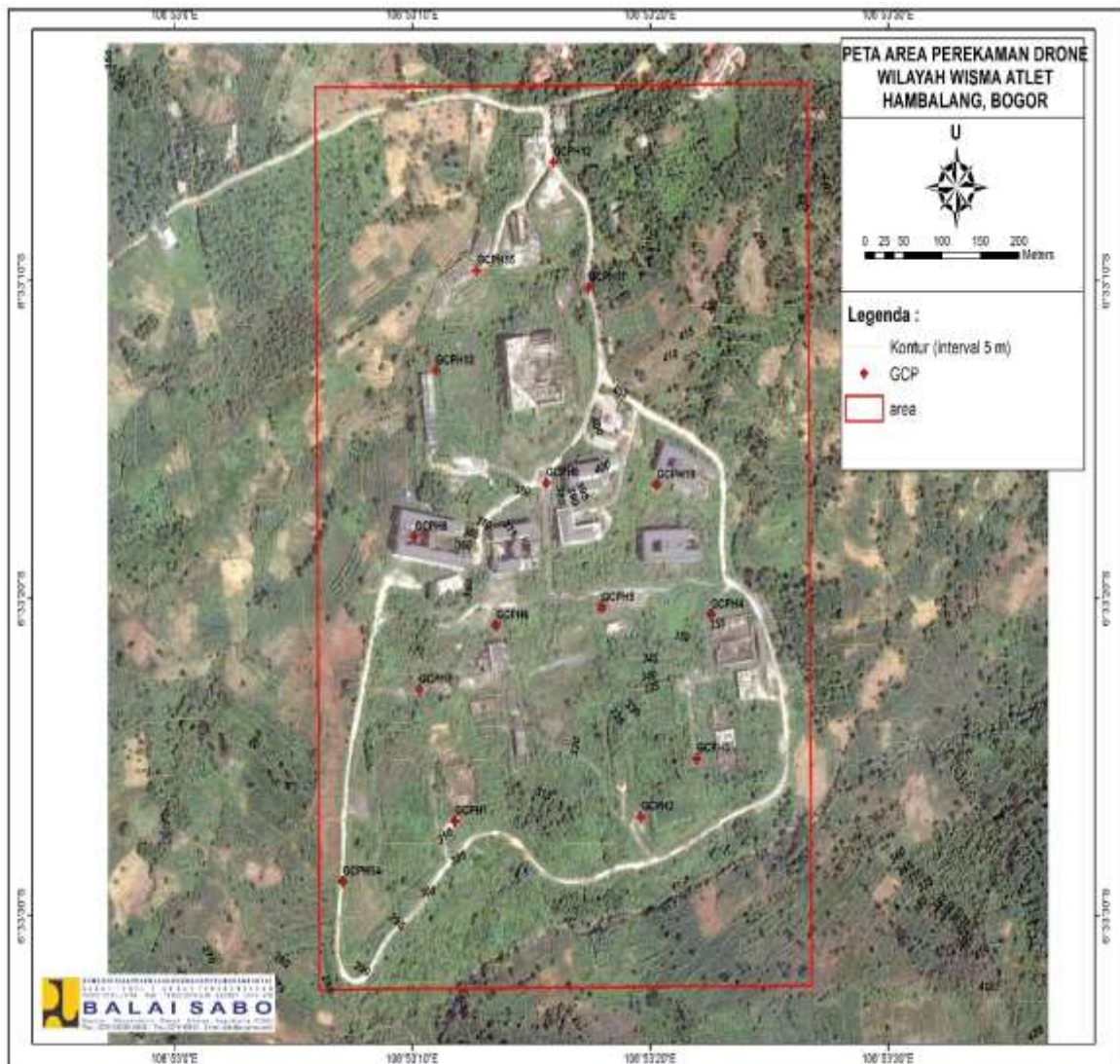
awal yang diperoleh dari perencana (interval 5 m), luas daerah kajian, dan citra Google Earth. Selanjutnya data titik-titik GCP ini dimasukkan/dikopikan ke dalam peralatan GPS Garmin untuk routing, dan data peta wilayah perekaman dikonversikan ke dalam format KML untuk dimasukkan ke dalam *software* pembuatan misi terbang drone (*Mission Planner*).

Untuk desain misi sendiri terdapat beberapa kriteria untuk jenis pekerjaan perekaman topografi dengan menggunakan drone. Kriteria-kriteria tersebut sebisa mungkin terpenuhi dalam pengukuran sehingga hasil yang diperoleh mempunyai resolusi yang tinggi. Kriteria-kriteria yang diperlukan adalah sebagai berikut:

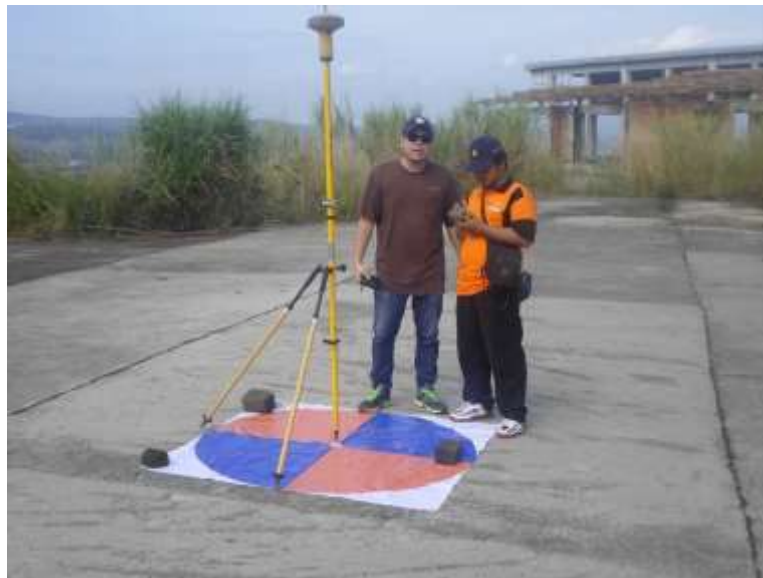
- 1 Tampilan baik *overlap* atau *sidelap* minimal 70%. Lebih besar lebih baik, tetapi semakin

besar tampilannya, proses terbang akan semakin lama.

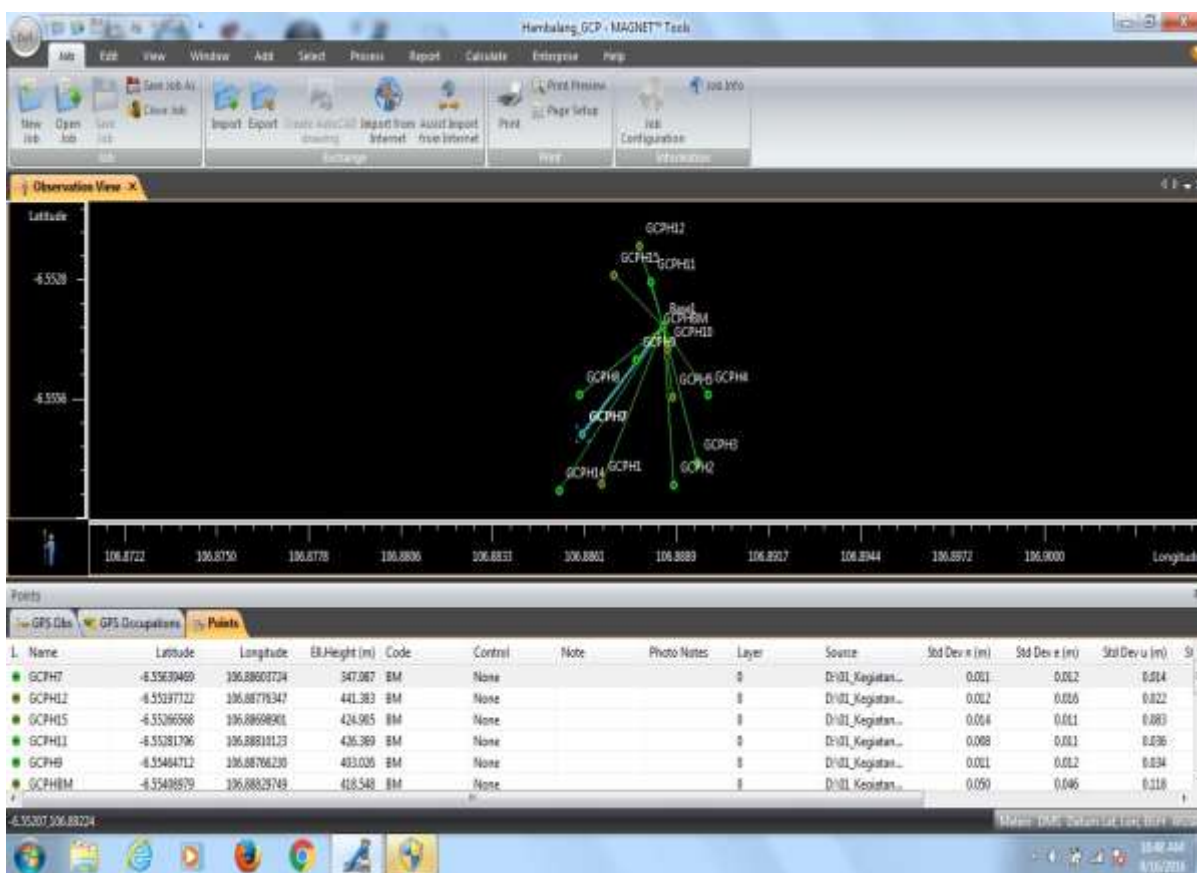
- 2 Ketinggian terbang disesuaikan dengan spesifikasi sensor kamera. Diusahakan perekaman serendah mungkin namun harus memperhatikan kondisi topografi di wilayah tersebut. Jangan sampe drone menabrak tebing atau bangunan dan pohon karena terbang terlalu rendah.
- 3 Waktu perekaman diusahakan pada waktu kondisi cuaca cerah sehingga cahaya yang tertangkap kamera maksimal.



Gambar 1 Lokasi penempatan titik-titik GCP dan area pengukuran P3SON Hambalang



Gambar 2 Pengukuran GCP pada satu titik di area P3SON Hambalang



Gambar 3 Pemrosesan titik-titik GCP dengan menggunakan software Magnet Tools

HASIL PELAKSANAAN FOTO UDARA

Pengukuran GCP dan pengambilan foto udara

Pelaksanaan kegiatan pengukuran dilaksanakan pada tanggal 21 sampai 24 Juli 2016. Proses perekaman diawali dengan pengukuran GCP yang sebelumnya telah dipersiapkan. Pengukuran GCP dilakukan dengan menggunakan dua GPS Geodetik merek Topcon GR-5 untuk kelima belas titik yang telah disusun (Gambar 1).

Untuk setiap titik GCP yang akan diukur, titik tersebut ditandai dengan *banner* ukuran 1,5 x 1,5 m yang mempunyai warna oranye dan biru. Hal tersebut dimaksudkan agar ketika difoto dari udara, tanda tersebut nanti tetap terlihat untuk proses koreksi posisi foto. Pengukuran koordinat dan elevasi GCP dilakukan dengan menggunakan minimal dua GPS Geodetik yang merekam secara simultan lokasi-lokasi GCP tersebut dengan mode statis. Satu GPS diletakkan dengan mode statis di satu titik merekam dan satu GPS sebagai *rover* merekam tiap titik GCP selama 10 menit minimal. Hasil dari pengukuran kemudian diproses untuk mendapatkan data dengan ketelitian sub sentimeter. Koreksi antara *static* GPS dengan *mobile* GPS dilakukan dengan menggunakan *software* Magnet Tools. Hasil dari koreksi dan pemrosesan titik GCP dapat dilihat pada Gambar 3 dan Tabel 1.

Tabel 1 Data keluaran dari hasil pemrosesan titik GCP (titik pada tabel berarti koma)

TITIK	Y	X	Z
Base1	-6.55387	106.8885	419.321
GCPH1	-6.55755	106.8866	326.604
GCPH2	-6.55757	106.8888	335.635
GCPH3	-6.55704	106.8895	350.854
GCPH4	-6.55547	106.8898	373.571
GCPH5	-6.55552	106.8888	370.436
GCPH7	-6.55639	106.886	347.987
GCPH8	-6.55547	106.8859	370.526
GCPH9	-6.55465	106.8877	403.026
GCPH10	-6.55442	106.8886	407.837
GCPH11	-6.55282	106.8881	426.369
GCPH12	-6.55198	106.8878	441.383
GCPH14	-6.55769	106.8854	329.538
GCPH15	-6.55267	106.887	424.905
GCPHBM	-6.55409	106.8883	418.548
Base2	-6.55387	106.8885	419.367
GCPH6	-6.55626	106.8868	351.04
GCPH13	-6.55328	106.8866	402.715
GCPH16	-6.5544	106.8877	404.123

Setelah proses pengukuran GCP selesai dan semua tanda telah dipasang maka proses selanjutnya adalah perekaman foto udara dengan drone oleh tim Puskim. Sebagai catatan untuk mempersingkat waktu, pengambilan foto udara dapat dilakukan tanpa menunggu selesainya pengukuran GCP. Jika *banner* sudah dipasang seluruhnya, maka pengambilan foto udara bisa dilakukan bersamaan dengan pengukuran GCP. Perekaman dilakukan dengan menggunakan drone Phantom DJI Inspire II. Pada saat itu Balai Litbang Sabo belum mempunyai drone sendiri. Drone yang dimiliki oleh Balai Litbang Sabo merupakan drone rakitan yang mempunyai spesifikasi lebih baik daripada DJI.

Proses perekaman dilakukan sebanyak dua kali. Perekaman pertama dilakukan dengan ketinggian 110 m dari permukaan tanah dan perekaman kedua dilakukan dengan ketinggian 80 m dari permukaan tanah. Proses perekaman pada hari pertama dilaksanakan sampai sore dan berhenti pada saat hujan turun, sehingga perekaman dilanjutkan keesokan pagi harinya. Perekaman hari pertama siang kondisi cuaca relatif mendung sehingga beberapa foto tampak kurang cerah.

Pemrosesan foto pasca perekaman

Hasil perekaman drone berupa foto-foto udara dengan jumlah total sebanyak 1.590 foto, setelah dikurangi foto saat take off dan landing. Data GPS atau posisi foto terdapat di *Metadata* (EXIF) dari foto tersebut yang nantinya akan diekstrak untuk pemrosesan selanjutnya. Tahapan pemrosesan foto pasca perekaman dibagi menjadi beberapa tahap yang dapat dilihat pada Gambar 4.

Tahapan-tahapan pemrosesan foto udara tersebut dapat dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu proses inisiasi/awal, proses pembuatan *point cloud* dan *mesh*, dan hasil akhir berupa DSM, DTM, dan kontur. Proses-proses tersebut secara detail akan dijabarkan sebagai berikut:

a. Proses Inisialisasi

Proses inisialisasi ini adalah proses "menjahit" atau *mosaic* data foto menjadi satu data citra foto udara yang terpadu. Dalam tahapan ini sekaligus dilakukan proses koreksi dengan menggunakan data GCP yang telah diukur sebelumnya. Luas area yang terfoto dari hasil perekaman drone adalah 89,3 Ha dengan rata-rata ground sampling yaitu 5,37 cm. Dari 1.590 buah foto yang diambil, foto yang berhasil dikalibrasi adalah sejumlah 1.557 buah (97%). *Keypoint* dari tiap foto berjumlah rata-rata 56.781 titik, optimasi kamera adalah 3,55% dari perbedaan antara setting parameter awal dengan hasil optimasi. Hasil penyamaan dari tiap

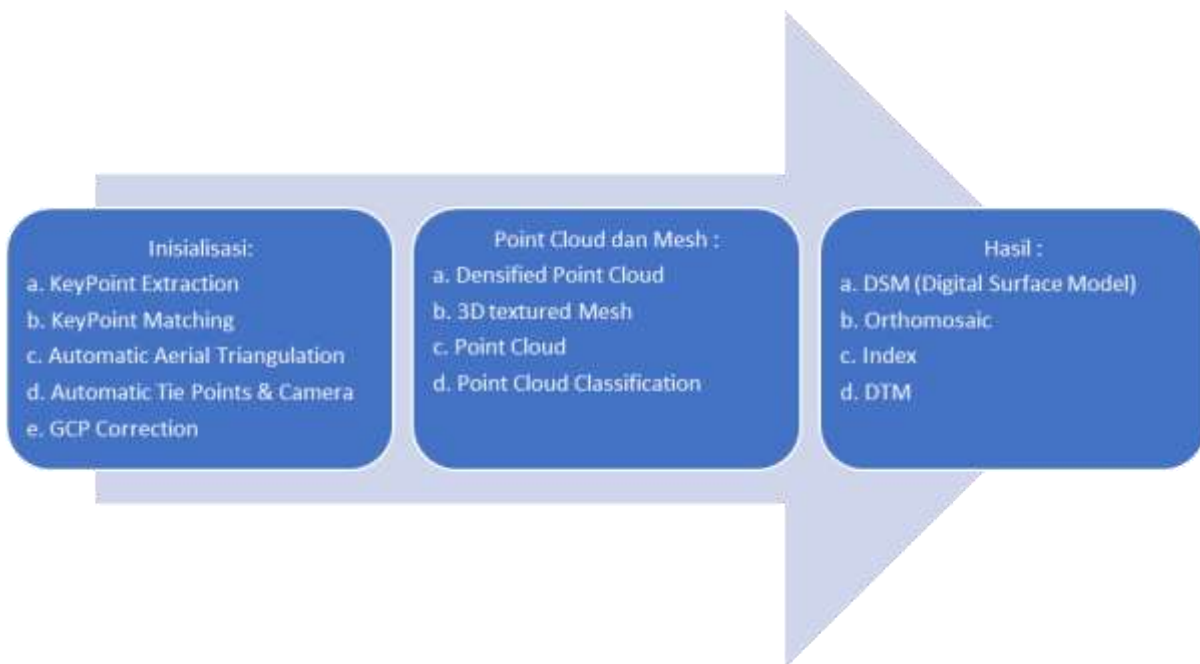
foto rata-rata dihasilkan 8.601,9 kesamaan. Dengan diberikan nilai hasil dari GCP, maka terdapat rata-rata *RMS error* sebesar 3,47 m.

Pada Gambar 5 ditampilkan jalur terbang drone dan titik-titik pengambilan foto. Gambar 5a menampilkan posisi awal foto beserta jalur terbangnya, sedangkan Gambar 5b memperlihatkan titik-titik setelah terkoreksi. Pada Gambar 5b di bagian atas kanan terdapat titik-titik merah yang menggambarkan foto-foto yang tidak terjahit dan tidak bisa terkoreksi oleh GCP. Hal ini mungkin disebabkan kluster foto yang relaif jauh atau *tie point* yang tidak terkalkulasi. Gambar 5c memperlihatkan kondisi tampalan foto. Warna hijau menandakan tampalan foto yang berjumlah lima atau lebih, sedangkan warna merah menandakan hanya terdapat satu tampalan foto. Semakin banyak tampalan foto maka proses mosaik foto akan semakin akurat, dan koreksi GCP pun akan semakin baik.

Proses koreksi dan *mosaic* foto memerlukan titik-titik kesesuaian antar foto yang disebut *keypoint*. Dalam pelaksanaan proses koreksi tersebut, foto akan di bagi menjadi beberapa blok foto dan setelah itu dilaksanakan proses perhitungan *keypoint* baik untuk 3D maupun 2D. Jumlah *keypoint* yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari perhitungan *keypoint* tersebut didapatkan rerata kesalahan reproyeksi sebesar 0,21 piksel. Berdasarkan kesalahan reproyeksi tersebut maka perlu dioptimasi ulang parameter kamera drone. Parameter-parameter yang disesuaikan antara lain parameter *focal*, parameter *principal*, dan parameter lainnya sebagaimana terlihat pada Tabel 3.

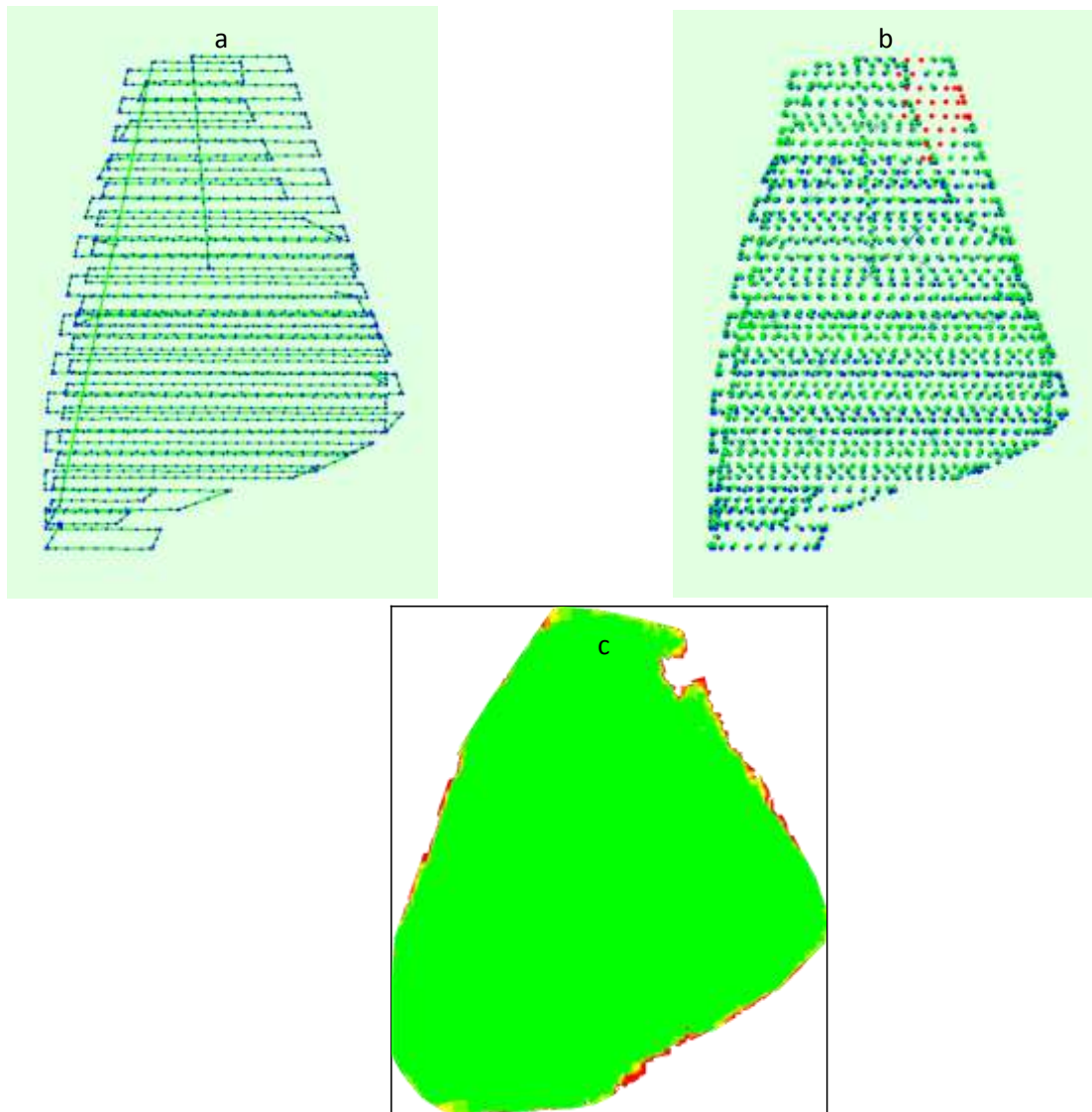
Dari proses analisis *keypoint* didapatkan juga data statistik hasil perhitungan *keypoint* yang meliputi nilai: minimum, maksimum, rerata, dan median. Hasil analisis statistik dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 4 Tahapan-tahapan pemrosesan data foto udara

Tabel 2 Perhitungan *keypoint*

<i>Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment</i>	14409417
<i>Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment</i>	5009063
<i>Mean Reprojection Error [pixels]</i>	0,207225



Gambar 5 Jalur terbang drone (a); hasil kalkulasi GCP dan koreksinya (b); kondisi tampilan foto (c)

Tabel 3 Optimasi parameter kamera

	<i>Focal</i>	<i>Principal</i>	<i>Principal</i>	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>
<i>Initial</i>	2302,347 [pixel]	2000,000 [pixel]	1500,000 [pixel]	-0,130	0,106	-0,016	-0,000	0,000
<i>Optimized</i>	2384,092 [pixel]	1976,615 [pixel]	1472,957 [pixel]	-0,137	0,120	-0,017	-0,000	-0,000

Tabel 4 Perhitungan statistik hasil *keypoint*

	<i>Number of 2D Keypoints per Image</i>	<i>Number of Matched 2D Keypoints per Image</i>
<i>Median</i>	56781	8602
<i>Min</i>	29491	57
<i>Max</i>	74548	30129
<i>Mean</i>	55763	9255

Bagan kecocokan *keypoint* dapat dilihat pada Gambar 6. Semakin hitam area maka kecocokan antar gambar semakin banyak yang menghasilkan mosaik yang semakin akurat. Pada daerah kanan atas Gambar 6 terlihat bahwa foto tidak bisa terkoreksi sehingga *keypoint* tidak bisa ditemukan.

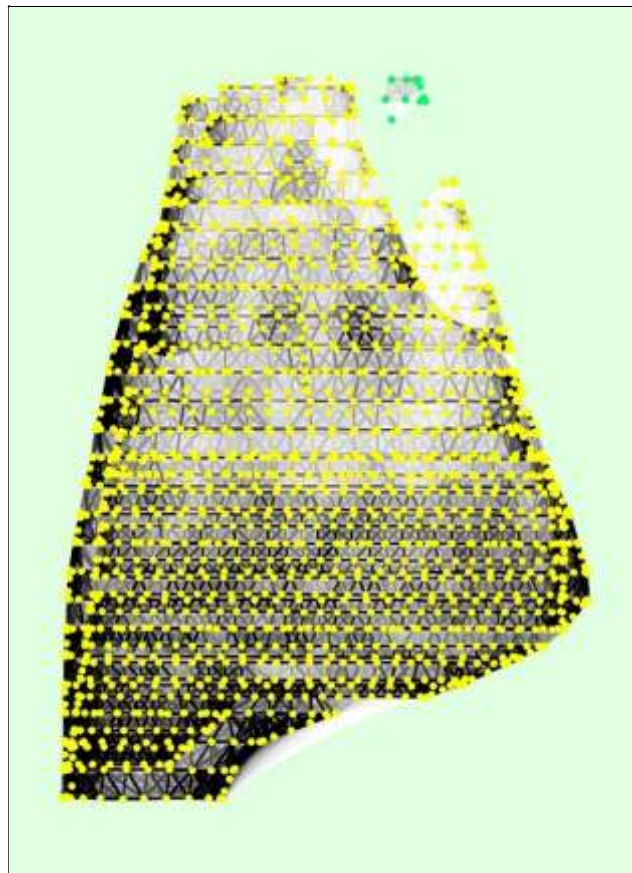
Setelah proses perhitungan *keypoint* dan koreksi parameter foto, maka dilanjutkan dengan koreksi posisi atau koreksi geometri menggunakan GCP. Hasil input GCP dan kalkulasinya, nama GCP, akurasi dan kesalahan posisi, ketinggian dan proyeksi dijabarkan dengan detail pada Tabel 5. Pada Tabel 5 tersebut juga di informasikan banyaknya verifikasi foto untuk tiap GCP.

Dari hasil perhitungan GCP didapatkan perhitungan statistik seperti varians dan lokasi absolut. Detail perhitungan statistik tersebut dapat dilihat pada Tabel 6. Kesalahan minimum dan kesalahan maksimum merepresentasikan interval kesalahan lokasi antara 1,5 dan 1,5 kali dari akurasi maksimal semua foto. Kolom X, Y, dan Z menampilkan persentase dari foto yang mempunyai kesalahan lokasi didalam interval

kesalahan yang telah ditetapkan. Kesalahan ini berbeda disaat awal dan setelah komputasi. Perhatikan bahwa kesalahan lokasi tidak berhubungan dengan akurasi titik 3D yang di amati. Dari Tabel 6 di atas, didapatkan hasil translasi atau pergeseran dari posisi dan ketinggian. Bias yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 7.

Pada perhitungan selanjutnya didapatkan persentase gambar yang telah terkoreksi secara posisi dan terkalibrasi dengan kesalahan posisi relative antara -1 dan 1, -2 dan 2, dan -3 dan 3. Persentase yang tinggi dengan kesalahan lokasi relatif lebih rendah dari -3 atau lebih tinggi dari 3 mengindikasikan nilai yang salah dari akurasi GCP yang telah diberikan. Detail perhitungan dapat dilihat pada Tabel 8.

Orientasi foto perlu juga dilakukan penyesuaian. Orientasi ini meliputi arah dan sudut depan belakang, kiri kanan, dan menyamping. Derajat kesalahan orientasi foto dapat dilihat pada Tabel 9.



Gambar 6 Kecocokan *keypoint* tiap foto

Tabel 5 Informasi kesalahan tiap GCP

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error	Verified/Marked
Base1 (3D)	0,020/0,020	-0,451	0,126	-0,028	0,890	9/9
GCPH1 (3D)	0,020/0,020	-0,118	-0,012	-0,064	0,570	9/9
GCPH2 (3D)	0,020/0,020	-0,065	-0,127	-0,347	0,663	9/9
GCPH3 (3D)	0,020/0,020	-0,004	-0,086	-0,334	0,263	4/4
GCPH4 (3D)	0,020/0,020	-0,158	0,073	0,029	0,523	9/9
GCPH5 (3D)	0,020/0,020	-0,138	0,054	0,091	0,432	9/9
GCPH7 (3D)	0,020/0,020	-0,086	0,075	0,106	0,457	9/9
GCPH8 (3D)	0,020/0,020	-0,060	0,101	0,047	0,684	9/9
GCPH9 (3D)	0,020/0,020	-0,143	0,004	-0,262	0,665	4/4
GCPH10 (3D)	0,020/0,020	-0,253	0,027	-0,068	0,606	9/9
GCPH11 (3D)	0,020/0,020	-0,244	0,086	-0,031	0,869	9/9
GCPH12 (3D)	0,020/0,020	-0,022	0,096	0,109	0,754	8/8
GCPH14 (3D)	0,020/0,020	-0,060	-0,017	-0,143	0,768	10/10
GCPH15 (3D)	0,020/0,020	-0,003	0,234	0,116	1,602	9/9
GCPHBM (3D)	0,020/0,020	-20,949	-24,626	-0,821	0,841	9/9
Base2 (3D)	0,020/0,020	0,686	-0,298	-0,006	0,537	9/9
GCPH6 (3D)	0,020/0,020	0,845	-0,334	0,139	0,870	9/9
GCPH13 (3D)	0,020/0,020	0,306	-0,059	0,076	0,818	9/9
GCPH16 (3D)	0,020/0,020	0,183	-0,054	0,141	0,808	9/9
Mean [m]		-1,091321	-1,302010	-0,065816		
Sigma [m]		4,690297	5,499124	0,231417		
RMS Error [m]		4,815586	5,651158	0,240594		

Tabel 6 Varians lokasi absolut

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15,00	0,00	0,00	4,17
-15,00	-12,00	0,06	0,00	11,30
-12,00	-9,00	1,35	0,00	2,44
-9,00	-6,00	5,20	0,32	2,83
-6,00	-3,00	11,75	2,63	6,29
-3,00	0,00	32,82	38,34	8,93
0,00	3,00	29,16	56,78	13,42
3,00	6,00	11,18	1,16	32,24
6,00	9,00	6,81	0,77	16,63
9,00	12,00	1,67	0,00	1,73
12,00	15,00	0,00	0,00	0,00
15,00	-	0,00	0,00	0,00
Mean [m]		0,316760	-2,757092	-11,269784
Sigma [m]		3,939776	1,661463	7,388643
RMS Error [m]		3,952490	3,219008	13,475907

Tabel 7 Bias lokasi dan ketinggian

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	0,316760	-2,757092	-11,269784

Tabel 8 Kalkulasi variance posisi relatif

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	78,68	98,07	81,70
[-2.00, 2.00]	98,07	100,00	100,00
[-3.00, 3.00]	100,00	100,00	100,00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5,000000	5,000000	10,000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0,000000	0,000000	0,000000

b. *Point cloud* dan *mesh*

Pada langkah kedua ini dilakukan proses pembuatan *point cloud* dan *mesh* serta melakukan klasifikasi *point cloud* untuk mendapatkan elevasi tanah asli tanpa semak-semak, tanaman, dan gedung (*bare land*), yang nantinya bisa diproses menjadi *Digital Terrain Model (DTM)*. Setting *software* untuk analisis *point cloud* dan *mesh* dapat dilihat pada Tabel 10.

Pemrosesan *point cloud* dan *mesh* memerlukan waktu kurang lebih 16 jam dan hasil dari analisis dapat dilihat dari Tabel 11. Pada Tabel 11 terlihat terdapat 4 klaster foto yang diproses, dengan hasil titik-titik awan yang dihasilkan

sebanyak 94.383.492 buah dengan densitas sebesar 45,95 titik per meter persegi.

Pembuatan *point cloud* dari foto hasil koreksi geometri yang telah dilaksanakan sebelumnya akan menghasilkan kumpulan titik-titik yang memiliki nilai X, Y, dan Z, dengan kata lain memiliki koordinat posisi dan nilai ketinggian. Data *point cloud* ini akan berguna untuk proses selanjutnya yaitu pembuatan *mesh 3D*. *Mesh 3D* ini berupa pemberian muka atau bidang pada titik-titik *point cloud* yang memberikan efek 3D lebih nyata. Contoh pembuatan *point cloud* dapat dilihat pada Gambar 7.

Tabel 9 Varians orientasi geolokasi

<i>Geolocation Orientational Variance</i>	RMS [<i>degree</i>]
Omega	1,535558
Phi	1,916429
Kappa	6,530826

Tabel 10 Seting *software* untuk *point cloud* dan *mesh*

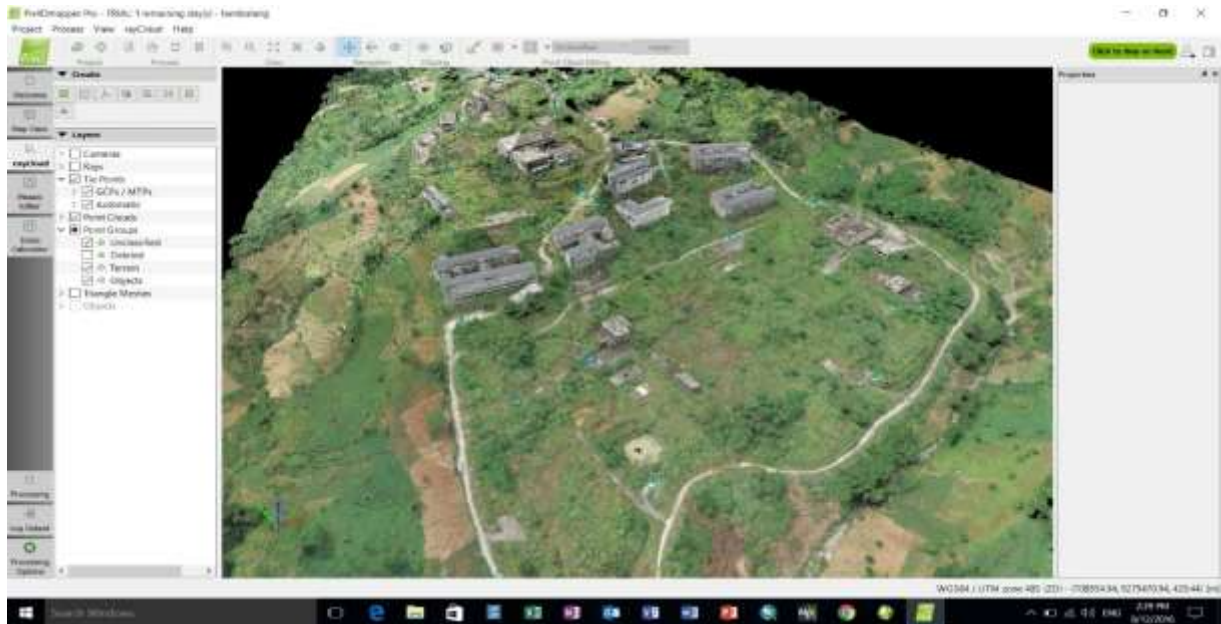
<i>Image Scale</i>	<i>multiscale, 1/2 (Half image size, Default)</i>
<i>Point Density</i>	<i>Optimal</i>
<i>Minimum Number of Matches</i>	3
<i>3D Textured Mesh Generation</i>	<i>yes, Maximum Number of Triangles: 1000000, Texture Size: 8192x8192</i>
<i>Advanced: Matching Window Size</i>	<i>7x7 pixels</i>
<i>Advanced: Image Groups</i>	<i>group1</i>
<i>Advanced: Use Processing Area</i>	<i>yes</i>
<i>Advanced: Use Annotations</i>	<i>yes</i>
<i>Advanced: Limit Camera Depth</i>	<i>no</i>
<i>Advanced: Point Cloud Classification (Beta)</i>	<i>yes, Minimum Object Length [m]: 0,5, Maximum Object Length [m]: 90, Minimum Object Height [m]:</i>
<i>Time for Point Cloud Densification</i>	14h:03m:12s
<i>Time for Point Cloud Classification</i>	01h:43m:28s
<i>Time for 3D Textured Mesh Generation</i>	43m:01s

Tabel 11 Ringkasan hasil pengolahan *point cloud* dan *mesh*

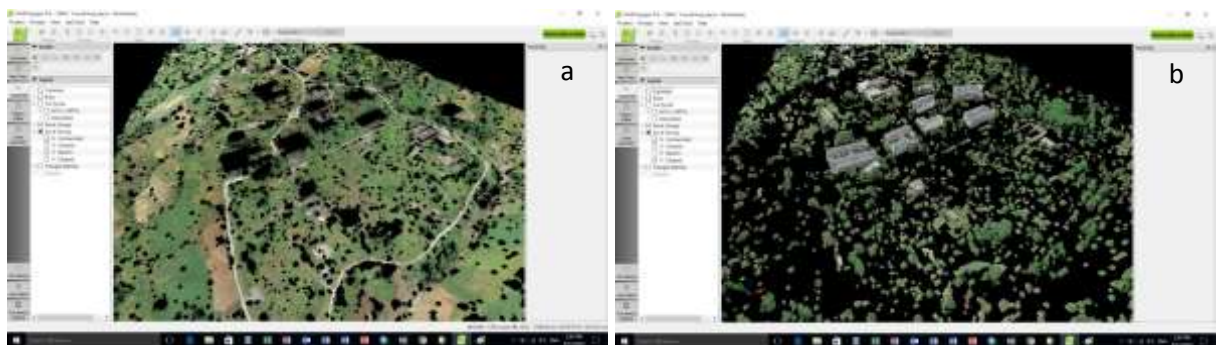
<i>Number of Processed Clusters</i>	4
<i>Number of Generated Tiles</i>	4
<i>Number of 3D Densified Points</i>	94.383.492
<i>Average Density (per m³)</i>	45,95

Tabel 12 Spesifikasi proses produk data

<i>DSM and Orthomosaic Resolution</i>	1 x GSD (5,37 [cm/pixel])
<i>DSM Filters</i>	<i>Noise Filtering: yes, Surface Smoothing: yes, Sharp</i>
<i>DSM Generation</i>	<i>yes, Method: Inverse Distance Weighting, Merge Tiles: yes</i>
<i>Time for DSM Generation</i>	01h:34m:51s
<i>Time for Orthomosaic Generation</i>	02h:37m:25s



Gambar 7 Point cloud kawasan P3SON Hambalang



Gambar 8 Gambar permukaan tanah hasil klasifikasi *point cloud* (a), dan kenampakan obyek hasil klasifikasi *point cloud* (b)

Data *point cloud* pada Gambar 7 di atas masih belum terklasifikasikan dan masih belum dapat dibedakan mana obyek dan mana *bare land* atau permukaan tanah. Langkah selanjutnya yaitu melakukan klasifikasi *point cloud*. Klasifikasi ini menghitung minimum lebar obyek, maksimal lebar obyek, dan minimum ketinggian obyek sampai point tersebut dikategorikan sebagai sebuah obyek, bukan permukaan tanah. Hasil dari klasifikasi berupa permukaan tanah dan obyek yang dapat dilihat pada Gambar 8.

Gambar 8a adalah *point cloud* yang merepresentasikan *bare land* atau permukaan tanah, yang berarti data *point* gedung/bangunan dan vegetasi yang telah dihilangkan. Sebaliknya, Gambar 8b menampilkan kelas obyek, yaitu gambar yang menampilkan bentuk bangunan dan vegetasi.

Proses klasifikasi secara otomatis dengan menggunakan *software* tidak serta merta

mengklasifikasikan antara permukaan dan obyek dengan tepat 100%. Pengenalan obyek apalagi untuk data dari foto dengan menggunakan UAV sangat berbeda dengan sensor aktif LIDAR, sehingga teknik perekaman perlu dilakukan dengan ketinggian serendah mungkin, sensor foto beresolusi tinggi, serta perekaman beberapa kali dengan sudut yang berbeda dan tumpang (*sidelap* dan *overlap*) yang tinggi untuk mendapatkan data yang berkualitas tinggi.

Gambar 9 menunjukkan gambar *mesh* atau data *point cloud* yang telah diberikan "*face*" atau telah dibuat ulang, sehingga membentuk kenampakan 3D yang lebih realistis.

Dari kenampakan *mesh* ini akan terlihat jika masih terdapat data yang kurang. Hal ini dicirikan dengan bentuk bangun yang masih aneh, belum realistis, atau terdistorsi. Jika kenampakan terdistorsi masih ditemukan bisa dilakukan

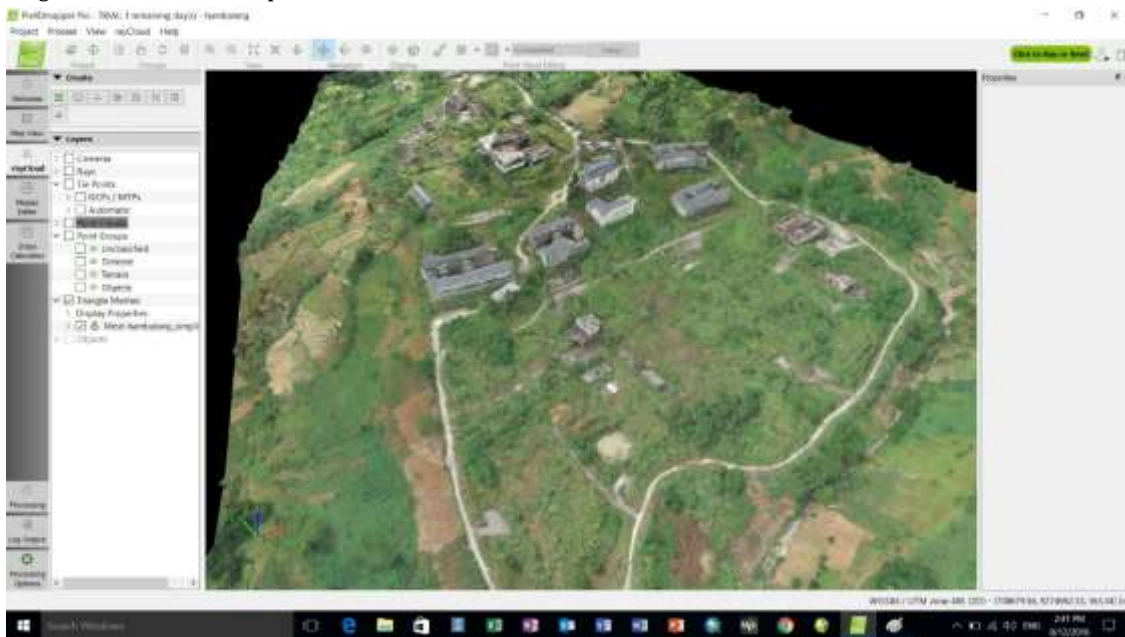
perekaman lagi jika memang dibutuhkan untuk memperbaiki data.

c. Hasil akhir analisis

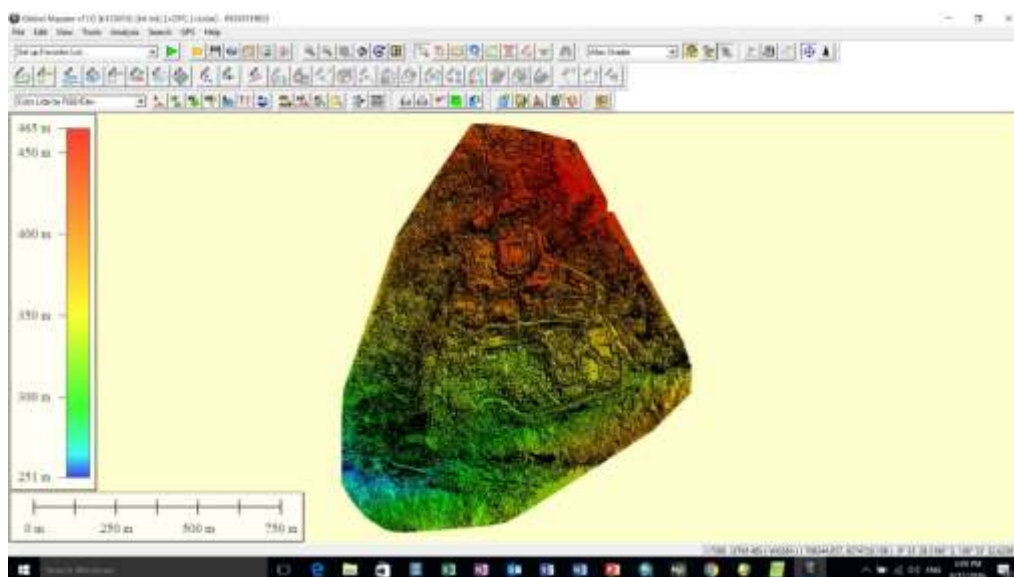
Hasil analisis data berupa peta DSM, DTM, dan Kontur yang merupakan langkah terakhir dalam pemrosesan data drone. Pada Tabel 12 terlihat detail spesifikasi seting dan waktu pemrosesan dari produk akhir data.

Sebagaimana terlihat pada Tabel 12, resolusi ortofoto yang didapatkan adalah sebesar 5,37 cm. Metode yang digunakan untuk menghasilkan DSM adalah metode *Inverse Distance Weighting* dan *filtering* data untuk mendapatkan efek halus.

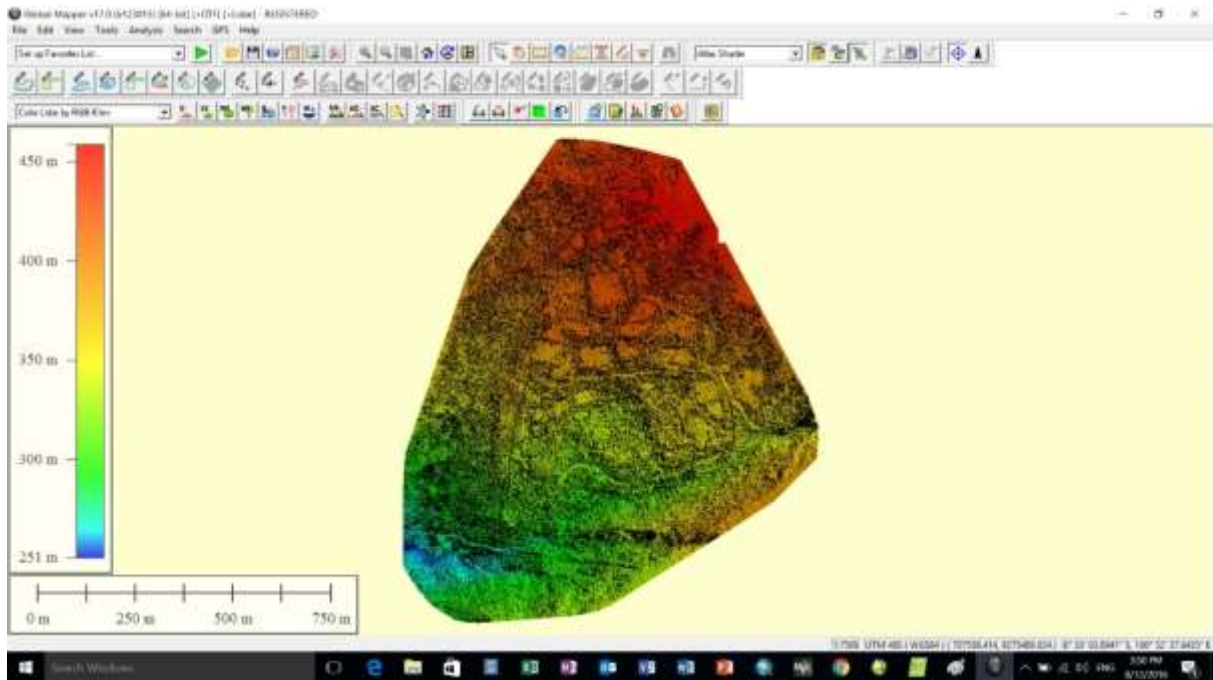
DSM merupakan model 3D wilayah P3SON Hambalang yang menggambarkan semua obyek dan permukaan tanah dalam 3 dimensi. DSM didapatkan dengan melakukan interpolasi data *point cloud* untuk menjadi data raster yang berisi piksel-piksel yang mempunyai data posisi (X, Y) dan data ketinggian (Z). Hasil render DSM dapat dilihat pada Gambar 10. Bangunan dan vegetasi masih nampak tergambar pada Gambar 10. Warna merepresentasikan ketinggian. Hubungan skala dan ketinggian dapat dilihat pada legenda di sebelah kiri gambar.



Gambar 9 Hasil analisis *mesh* wilayah Hambalang



Gambar 10 Peta DSM hasil analisis yang masih terdapat bangunan dan tumbuhan



Gambar 11 Peta DTM hasil analisis yang sudah tidak terdapat bangunan dan tanaman



Gambar 12 Kontur wilayah P3SON Hambalang (interval 1 m)

DTM merupakan model 3D permukaan tanah atau *bare land* yang dihasilkan dari interpolasi data *point cloud* yang telah terklasifikasi. Data ini menghasilkan model kenampakan permukaan tanah tanpa adanya penutup lahan yang ada, misalnya bangunan, vegetasi, dan lain-lain. Hasil DTM dapat dilihat pada Gambar 11. Pada gambar 11 tersebut terlihat bangunan dan vegetasi telah terpotong dan data telah diinterpolasi menjadi datar.

Dari hasil DTM tersebut, data yang diperoleh dapat diolah lebih lanjut menjadi data kontur yang dapat digunakan sebagai input untuk perhitungan dan disain pada kawasan P3SON. Dengan resolusi data yang didapatkan bisa dihasilkan data kontur dengan interval maksimum 5 cm. Data dengan resolusi lebih rendah bisa didapatkan dengan interpolasi misal 1 m, 2 m, maupun 3 m. Contoh data kontur dengan interval 1 m dapat dilihat pada Gambar 12. Hasil yang ditampilkan berupa kontur 1 m karena jika kontur 5 cm ditampilkan, maka gambar yang terlihat hanya berupa lembaran peta berwarna kuning krem.

Hasil lain yang tak kalah penting yaitu *Orthomosaic*. *Orthomosaic* adalah peta penampakan dua dimensi wilayah perekaman, dimana peta ini mengandung data yang berisikan informasi X, Y, dan Informasi warna untuk tiap pikselnya. Data *orthomosaic* sangat berguna untuk analisis penggunaan/penutup lahan, juga untuk pengukuran 2D lainnya (luas dan jarak). Data *orthomosaic* didapatkan dari proses *mosaic* atau penggabungan *densified point cloud*. *Index* merupakan salah satu output yang memungkinkan hasil analisis data drone diolah lebih lanjut menjadi beberapa jenis informasi tambahan berbeda. Data dari DSM diproses menjadi data *reflectance*, yaitu nilai pantulan tiap piksel untuk tiap saluran RGB (*Red, Green, Blue*) atau *InfraRed* jika sensor memungkinkan. Dari sini bisa dilakukan analisis lebih lanjut dengan formula indeks yang ada seperti NDVI (*vegetation index*), NMDI (*drought index*), dan lain-lain.

PEMBAHASAN

Dari hasil pengukuran topografi yang diukur oleh drone dengan menggunakan teknik fotogrametri didapatkan peta-peta DSM, DTM, dan kontur dengan resolusi yang sangat tinggi, yaitu 5 cm pada studi ini. Resolusi yang dihasilkan dari teknik ini sangat tergantung dari berbagai faktor seperti tinggi terbang, cuaca, ukuran tampalan antar foto, dan teknik pengolahan foto itu sendiri. Pada kajian ini proses mulai dari pengukuran hingga dihasilkan kontur sangatlah cepat (dengan catatan tidak ada kendala teknik) dibandingkan

dengan metode konvensional seperti dengan menggunakan teodolit atau GPS Geodetik sekalipun. Jika tidak hujan pada siang hingga sore hari, maka pengambilan foto dengan drone pada area seluas $\pm 26,27$ Ha hanya memerlukan waktu 1 hari. Pengolahan data itu sendiri dari foto hingga menjadi kontur memakan waktu selama 3-4 hari, sehingga dalam waktu total 4-5 hari dapat dihasilkan kontur dengan resolusi 5 cm dengan area seluas $\pm 26,27$ Ha. Jika pengukuran dilakukan dengan metode terestrial untuk mendapatkan kontur dengan interval 5-10 cm, maka waktu yang diperlukan bisa mencapai 3 bulan bahkan lebih.

Dari segi biaya, tentu saja pengukuran topografi dengan menggunakan drone akan jauh lebih murah dibandingkan dengan menggunakan LIDAR atau TLS. Harga dari alat LIDAR itu sendiri lebih mahal dibandingkan dengan harga kamera poket yang digunakan dalam teknik fotogrametri. Keakuratan hasil pengukuran fotogrametri dan Lidarpun tidak berbeda jauh jika dibandingkan dengan pengukuran dengan menggunakan GPS Geodetik. Rock, dkk. (2011) membandingkan hasil pengukuran DEM dengan menggunakan LIDAR, teknik fotogrametri, dan GPS Geodetik. Dari hasil studi tersebut disimpulkan bahwa teknik fotogrametri dengan menggunakan drone akan memberikan hasil setara dengan LIDAR jika drone tersebut tidak terbang terlalu tinggi. Semakin tinggi terbang drone, maka hasil yang didapat akan semakin rendah. Dalam studinya, Uysal, dkk. (2015) juga membandingkan ke akurasian DEM hasil dari fotogrametri yang diambil dengan drone dan dengan RTK (*Real Time Kinematik*) GPS data. Dari hasil studi tersebut disimpulkan bahwa keakurasian drone fotogrametri sebanding dengan menggunakan RTK GPS.

Semua proses pembuatan peta diatas dilakukan dengan menggunakan *software* Pix4Dmapper pro, dimana harga dari *software* tersebut sebesar $\pm \$8.700$. Karena Balai Litbang Sabo tidak mempunyai *software* tersebut, maka Balai Litbang Sabo menyewa *software* tersebut ($\pm \$350$ /bulan) untuk memproses hasil pengukuran drone di beberapa lokasi. Dikarenakan banyak kegiatan di Balai Litbang Sabo yang memerlukan data hasil pengukuran topografi, maka mungkin akan lebih baik jika bisa diusulkan untuk membeli *software* tersebut daripada menyewa setiap bulannya.

Dalam studi ini drone fotogrametri digunakan untuk membuat peta DEM atau kontur pada suatu kawasan tanpa adanya sungai. Drone fotogrametri juga dapat diaplikasikan untuk membuat peta DEM pada area disekitar sungai (*River bank*), baik sungai-sungai vulkanik maupun non vulkanik. Untuk sungai-sungai vulkanik, menggunakan drone

fotogrametri relatif lebih mudah dikarenakan sungai vulkanik biasanya tidak terdapat aliran dasar (*baseflow*). Untuk sungai-sungai non vulkanik, penggunaan drone fotogrametri memerlukan metode lebih lanjut untuk mensimulasikan kedalaman sungai. Pada dasarnya foto yang diambil oleh drone tidak dapat menjangkau dasar sungai. Lejot, dkk. (2007) mencoba memodelkan dasar sungai dengan menggunakan drone fotogrametri. Metode yang digunakan berdasarkan hubungan antara cahaya matahari (*sun light wave*), permukaan air, dan refleksi cahaya dari dasar sungai. Namun metode ini akan mengalami kendala pada sungai-sungai yang keruh seperti di Indonesia, dimana cahaya matahari tidak dapat menembus dasar sungai.

Alternatif lain yang dapat dilakukan untuk mendapatkan DEM hingga profile dasar sungai dapat dilakukan dengan kombinasi drone fotogrametri dan pengukuran batimetri. Namun tentu saja pengukuran batimetri dasar sungai memakan waktu dan biaya yang lebih besar. Penampang-penampang melintang sungai dengan jarak tertentu hasil pengukuran di interpolasi dan digabungkan dengan hasil drone fotogrametri untuk mendapatkan DEM utuh baik dasar sungai maupun daerah sekitar sungai. Hasil pembuatan DEM untuk daerah vulkanik dan non vulkanik telah dilakukan oleh Balai Litbang Sabo dan akan di publikasikan pada makalah berikutnya.

KESIMPULAN

Survey penginderaan jauh dengan menggunakan UAV/drone memberikan keuntungan berupa efektivitas waktu, tenaga, dan biaya daripada survey terestrial dan dengan menggunakan LIDAR. Perekaman untuk wilayah P3SON Hambalang menghasilkan data foto resolusi tinggi yang dapat digunakan untuk analisis DSM, DTM, dan kontur dengan resolusi 5 cm dalam waktu 4-5 hari. Proses perekaman foto memerlukan kecermatan dalam mendesain misi. Hal ini menentukan keakuratan hasil yang diperoleh. Pada kasus P3SON Hambalang ini ada beberapa foto di wilayah timur laut yang tidak bisa dikoreksi. Klasifikasi *point cloud* untuk mendapatkan DTM dan kontur *bare land* memerlukan kualitas misi dan perekaman yang baik. Dianjurkan untuk membuat beberapa misi dengan ketinggian berbeda, dan pendetailan foto di kenampakan-kenampakan obyek.

DAFTAR PUSTAKA

- Colomina I., dan Molina P. 2014. Unmanned aerial system for photogrammetry and remote sensing: a review, *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 92, 79-97, doi:10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013.
- Diaz-Varela R. A., Zarco-Tejada P. J., Angileri V., dan Loudjani P. 2014. Automatic identification of agricultural terraces through object-oriented analysis of very high resolution DSMs and multispectral imagery obtained from an unmanned aerial vehicle, *Journal of environmental management*, 134, 117-126, doi:10.1016/j.envman.2014.01.006.
- Everaerts J. 2008. The use of unmanned aerial vehicles (UAVS) for remote sensing and mapping, *The international archives of the photogrammetry, Remote sensing and spatial information sciences*, Vol XXXVII, part B1, Beijing.
- Getzin S., Wiegand K., dan Schöning I. 2012. Assesing biodiversity in forests using very high-resolution images and unmanned aerial vehicles, *Methods in ecology and evolution*, 3, 397-4040, doi:10.1111/j.2041-210X.2011.00158.x.
- Hodgson A., Kelly N., dan Peel D. 2013. Unmanned aerial vehicles (UAVs) for surveying marine fauna: a Dugong case study, *PLoS ONE*, 8(11), e79556, doi:10.1371/journal.pone.0079556.
- Jones IV G. P., Pearlstine L. G., dan Percival H. F. 2006. An assessment of small unmanned aerial vehicles for wildlife research, *Wildlife society bulletin*, 34(3), 750-758, doi:10.2193/0091-7648(2006)34[750:AAOSUA]2.0.CO;2.
- Klemas V. V. 2015. Coastal and environmental remote sensing from unmanned aerial vehicles: an overview, *Journal of coastal research*, 31(5), 1260-1267, doi:10.2112/JCOASTRES-D-15-00005.1.
- Koh L. P., dan Wich S. A. 2012. Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation, *Tropical conservation science*, Vol 5(2), 121-132, ISSN 1940-0829.
- Lejot J., Delacourt C., Piégay H., Fournier T., Trémélo M-L., dan Allemand P. 2007. Very high spatial resolution imagery for channel bathymetry and topography from an unmanned mapping controlled platform, *Earth surf. Process. Landforms*, 32, 1705-1725, doi:10.1002/esp.1595.

- Ouédraogo M. M., Degré A., Debouche C., dan Lisein J. 2014. The evaluation of unmanned aerial system-based photogrammetry and terrestrial laser scanning to generate DEMs of agricultural watersheds, geomorphology, 214, 339-355, doi:10.1016/j.geomorph.2014.02.016.
- d'Oleire-Oltmanns S., Marzolf I., Peter K. D., dan Ries J. B. 2012. Unmanned aerial vehicle (UAV) for monitoring soil erosion in Morocco, Remote sens., 4, 3390-3416, doi:10.3390/rs4113390.
- Rock G., Ries J. B., dan Udelhoven T. 2011. Sensitivity analysis of UAV-photogrammetry for creating digital elevation model (DEM), International archives of the photogrammetry, Remote sensing and spatial information sciences, Vol XXXVIII-1/C22UAV-g2011, Conference on unmaned aerial vehicle in geomatics, Zurich, Switzerland.
- Rossi G., Nocentini M., Lombardi L., Vannocci P., Tanteri L., Dotta G., Bicocchi G., Scaduto G., Salvatici T., Tofani, V., Moretti S., dan Casagli N. 2016. Integration of multicopter drone measurements and ground-based data for landslide monitoring, Landslide and engineered slopes. Experience, theory and practice, Rome, Italy, ISBN 978-1-138-02988-0.
- Sze L. T., Cheaw W. G., Ahmad Z. A., Ling C. A., Chet K. V., Lateh H., dan Bayuaji L. 2015. High resolution DEM generation using small drone for interferometry SAR, International conference on space science and communication, doi:10.1109/IconSpace.2015.7283801.
- Turner D., Lucieer A., dan de Jong S. M. 2015. Time series analysis of landslide dynamics using an unmaned aerial vehicle (UAV), Remote sens., 7, 1736-1757, doi:10.3390/rs70201736.
- Uysal M., Toprak A. S., dan Polat N. 2015. DEM generation with UAV photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill, Measurement, 73, 539-543, doi:10.1016/j.measurement.2015.06.010.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Syarif Hidayatuloh Puskim atas bantuannya dalam pengambilan data dengan drone, dan juga kepada Indragiri K.M.S. Budiharso dan Wahyu Kurniawan atas bantuannya dalam pengukuran GCP. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para *reviewers* atas masukkannya demi terciptanya makalah yang lebih baik.