

PEMETAAN TUTUPAN LAHAN BERBASIS *DRONE* DI DAERAH PERKOTAAN

Aditya Saputra¹; Mukhlis Akbar²; Andre Seno Permadi²;
Bruce Maldy Pratama²; Rudiyanto²

¹ Geography Faculty, Universitas Muhammadiyah Surakarta; ² GIS Laboratory, Geography Faculty, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Correspondence email: as105@ums.ac.id or aditsaputra1987@gmail.com

ABSTRAK

Tutupan lahan dan penggunaan lahan merupakan data yang signifikan dalam pemetaan dan pemodelan daerah perkotaan. Permasalahan utama yang sering muncul adalah sulitnya mendapatkan data tutupan lahan dan penggunaan lahan dengan resolusi dan tingkat akurat yang tinggi. Selain itu, variasi spasial, temporal dan besarnya jangkauan wilayah yang dikaji juga menjadi tantangan utama dalam melakukan kajian yang lebih efektif dan murah. Kemajuan teknologi saat ini dapat menyelesaikan berbagai masalah yang telah disebutkan. Kemajuan teknologi penginderaan jauh yang berbasis wahana pesawat kecil tanpa awak dapat menghasilkan data tutupan lahan dan penggunaan lahan pada skala detail di area perkotaan. Teknologi drone pada dasarnya merupakan sistem sederhana yang relatif murah, efektif, dan merupakan teknik yang sangat efisien dalam hal waktu untuk memproduksi foto udara resolusi tinggi di suatu area. Pemetaan berbasis drone mampu menawarkan proses pemetaan yang cepat baik pada tahap persiapan (pengesetan drone dan kamera) maupun proses kerja akhir termasuk pembuatan data digital permukaan/ *digital surface model* (DSM) menggunakan teknik *structure from motion* (SfM). Untuk mendapatkan data tutupan lahan yang akurat maka pendekatan *object-based image analysis* (OBIA) dilakukan dalam kajian ini. Selanjutnya, data tutupan lahan yang dihasilkan dapat digunakan untuk mendukung kajian perencanaan dan pemodelan perkotaan yang sangat penting dalam pembangunan wilayah.

Kata Kunci: Pemetaan Berbasis Drone, *Structure from Motion*, Pemetaan Tutupan Lahan, Perencanaan Wilayah

PENDAHULUAN

Tutupan lahan merupakan aspek yang sangat krusial dalam berbagai kajian perkotaan. Tutupan lahan secara eksplisit mampu memberikan informasi yang sangat akurat mengenai fungsi hubungan unsur fisik, iklim, dan tanah (Wulder dkk., 2018). Karena sifatnya yang dapat menggambarkan hubungan aspek biotik dan abiotik, tutupan lahan sering kali digunakan dalam kajian antropogenik, biogeografi, dan eko-klimatologi suatu daerah (Turner, Lambin, & Reenberg, 2007). Selain itu, perubahan tutupan lahan sering kali digunakan menjadi salah satu indikator perubahan kualitas lingkungan baik di daerah pedesaan maupun di perkotaan. Bahkan dalam kajian kebencanaan, data tutupan lahan dan atau penggunaan lahan merupakan komponen yang sangat penting terutama dalam tahap penilaian bahaya dan analisis kerentanan dari elemen yang terekspos oleh bencana (*element at risk*) (Kerle & Damen, 2011).

Akuisisi data tutupan lahan dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti penginderaan jauh dan pemotaran udara. Penginderaan jauh sejauh ini merupakan metode yang paling efisien untuk mendapatkan karakteristik tutupan lahan pada berbagai skala analisis. Landsat merupakan salah satu produk penginderaan jauh yang banyak digunakan dalam proses akuisisi data tutupan lahan. Landsat merekam permukaan bumi dengan resolusi spasial menengah (30 m) dan menggunakan multi-saluran (*multi-band*). Landsat dapat diunduh dengan mudah pada laman NASA dan United States Geological Survey (USGS). Hingga saat ini Landsat sudah mengalami kemajuan yang sangat pesat sejak diluncurkan pertama kali pada 1972. Pada awalnya misi Landsat dikembangkan pada resolusi yang

cukup besar pada area yang cukup luas. Namun, saat ini generasi ke delapan Landsat yaitu Landsat 8 *Operational Land Imager* (OLI), dilengkapi dengan 11 saluran (8 saluran OLI, 1 saluran pankromatik, 2 saluran infrared) yang memiliki resolusi paling detail mencapai 15 m (Pankromatik).

Penggunaan Landsat dalam kajian tutupan lahan sudah banyak dilakukan sejak Landsat generasi pertama. Anderson et al (1976), melakukan penelitian yang pertama kali, dan menemukan kendala terkait terbatasnya tempat penyimpanan data pada waktu itu. Selanjutnya, beberapa penelitian seperti Skole & Tucker (1993) yang melakukan penelitian tutupan lahan di Amazon, Fuller, Groom & Jones (1994) dan Franklin & Wulder (2002) yang melakukan penelitian tutupan lahan skala kecil dengan area yang luas di United Kingdom, Wulder dkk. (2003) dan Wulder dkk. (2008) yang melakukan penelitian serupa di Canada, menyempurnakan proses akuisisi data untuk mendukung kegiatan pemetaan tutupan lahan.

Landsat atau citra resolusi menengah yang lain seperti Spot dan Aster menawarkan hasil tutupan lahan yang akurat dan teknik akuisisi yang relatif efisien. Namun, Landsat dan citra resolusi spasial menengah lainnya hanya cocok untuk digunakan pada skala regional ($\pm 1:60.000$). Untuk beberapa kajian perkotaan seperti kajian rencana tata ruang, data penginderaan jauh resolusi menengah ini tidak dapat digunakan. Dalam skala ini, Landsat dan citra resolusi menengah lainnya hanya mampu menangkap pertumbuhan dan perkembangan perkotaan saja. Dibutuhkan data penginderaan jauh resolusi tinggi seperti Quickbird, Geoeye, Ikonos, dan Sentinel untuk dapat menangkap secara detail gambaran perkotaan dan mengkaji dinamika perkotaan untuk mendukung perencanaan tata ruang kota. Citra resolusi tinggi tersebut dapat menangkap obyek yang berukuran paling kecil 60 cm pada saluran pankromatik, namun membutuhkan biaya yang sangat mahal untuk mendapatkan citra resolusi tinggi tersebut, Disamping itu cakupan wilayah pada setiap area perekamannya hanya berkisar 16,5 km².

Dengan kemajuan teknologi penginderaan jauh yang berkembang saat ini, teknologi UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) mampu menjawab permasalahan yang muncul dalam implementasi penggunaan citra beresolusi tinggi dalam kajian perkotaan. Pada dasarnya teknologi UAV merupakan perkembangan dari pemotretan udara. Konsep yang digunakan pun sama yaitu konsep fotogrammetri, hanya saja proses UAV menggunakan wahana berupa pesawat atau quadcopter (drone) tanpa awak. Dengan demikian kegiatan pemotretan udara dapat dilakukan dengan relatif murah. Disamping itu, dengan menggunakan teknologi UAV ini waktu kegiatan pemotretan udara dapat ditentukan dengan lebih fleksibel. Bahkan dapat diatur periode ulang pengambilan foto yang cukup singkat. Foto yang dihasilkan oleh pemotretan UAV memiliki kualitas yang setara dengan citra resolusi tinggi seperti Quickbird, Geoeye, Ikonos dan Sentinel. Perbandingan visual citra Quickbird dan hasil pemotretan Drone dapat dilihat pada Gambar 1. Saat ini UAV sudah banyak digunakan untuk alternatif pengganti pemotretan udara yang cukup mahal dan berisiko. Hingga saat ini UAV sudah menghasilkan ratusan foto udara dengan berbagai ukuran dan luasan area yang dikaji (Gonçalves, 2016).



Gambar 1. (Kiri) Citra Quickbird, (Kanan) hasil pemotretan dengan UAV drone.

Artikel ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana UAV dapat menghasilkan data tutupan lahan untuk mendukung berbagai kajian perkotaan. Adapun lokasi yang dipilih menjadi daerah kajian adalah sebagian Kelurahan Sumber, Surakarta. Kelurahan Sumber merupakan daerah perkotaan yang kompleks yang memiliki variasi tutupan lahan perkotaan yang beragam. Selain itu, Sumber merupakan daerah yang sering terdampak banjir *alluvial* yang berasal dari Sungai Pepe dan Sungai Banyuanyar, sehingga dengan dilakukannya pemetaan tutupan lahan dengan UAV diharapkan dapat dilakukan pemodelan banjir pada penelitian selanjutnya.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian survei berbasis pemetaan drone. Obyek yang dikaji adalah tutupan lahan di sebagian daerah Kelurahan Sumber, Surakarta, Provinsi Jawa Tengah, Indonesia. Pemilihan daerah analisis dilakukan dengan teknik *purposive*, yaitu dengan memilih daerah yang memiliki variasi tutupan lahan yang tinggi. Pada umumnya, pemetaan drone ini dapat dibagi menjadi dua tahap yaitu, 1) merupakan tahap akuisisi data di lapangan, dan 2) adalah tahap interpretasi data. Adapun jenis drone yang digunakan dalam penelitian ini adalah drone DJI Phantom 4 Professional Obsidian yang merupakan generasi DJI drone yang paling baru dan memiliki fitur yang cukup lengkap. Sedangkan perangkat lunak yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah perangkat lunak drone deploy, Agisoft Photoscan Pro, dan Q GIS. Drone deploy digunakan untuk membantu pengambilan foto udara di lapangan, Agisoft Photoscan Pro digunakan untuk mengolah foto udara (pembuatan orthophoto), dan Q GIS digunakan untuk interpretasi visual foto udara. Adapun foto drone DJI Phantom Pro 4 Obsidian dapat dilihat pada Gambar 2, sedangkan spesifikasi drone dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2. (Kiri) Satu set drone yang digunakan;
(Kanan) Drone yang sudah dirakit dan siap untuk pemotretan.

Tabel 1. Spesifikasi DJI Phantom Pro 4 Obsidian

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat (termasuk baterai dan 4 baling-baling)	1,375 gram
2	Kecepatan terbang maksimum	S-Mode (<i>Sport mode</i>): 72 km/ jam A-Mode (<i>Attitude mode</i>): 58 km/ jam P-Mode (<i>Positioning mode</i>): 50 km/ jam
3	Durasi terbang (1 baterai)	30 menit
4	Sistem navigasi	GPS/GLONASS
5	Sistem perekaman visual	Sistem perekaman kamera <i>forward</i> , <i>backward</i> , dan <i>downward</i>
6	Sensor rintangan	Sensor pencegahan tabrakan di depan dan belakang Sensor inframerah di sisi kanan dan kiri
7	Kamera	1" CMOS,
8	Resistensi terhadap angin	Max 10 m/s
9	Dioperasikan pada temperatur	0-40°C
10	Format foto	JPEG, DNG (RAW), JPEG+DNG
11	Format video	MP4/MOV (AVC/H.264; HEVC/H.265)
12	Baterai	LiPo4S
13	<i>Charger</i>	Voltase: 17.4; Daya: 100W
14	Frekuensi operasional	2.4 GHz/ 5.8 GHz
15	Jarak maksimum jangkauan transmisi	4.3 mi (6.9 km)

Sumber: DJI Forum, 2017

A. Tahap akuisisi data di lapangan

Proses akuisisi data dapat dibagi menjadi dua tahap yaitu tahap pra lapangan dan tahap pemotretan di lapangan. Tahap pra lapangan dilakukan dengan tujuan untuk membagi daerah penelitian menjadi blok-blok pemotretan yang lebih kecil. Pada dasarnya tidak ada aturan khusus berapa luasan maksimum area yang dapat diambil dalam satu kali *take off*. Sepanjang baterai masih mencukupi dan masih dalam jangkauan transmisi antara *remote control* dan drone maka pemotretan dapat dilakukan. Namun untuk alasan keamanan dan efektivitas kerja, maka dalam penelitian ini luas blok tersebut ditentukan minimal 2 ha hingga 5 ha. Jika blok yang di foto kurang dari 2 ha, proses pemotretan udara kurang efektif karena banyak membutuhkan lokasi *take off* dan *landing*. Sebaliknya, jika terlalu besar (lebih dari 5 ha) maka lokasi *takeoff* dan *landing* dapat diminimalisir, hanya saja jarak antara *remote control* dan drone akan semakin besar, sehingga dapat meningkatkan kemungkinan terjadi hilang sinyal (*loss connection*) saat pemotretan berlangsung. Pembagian blok-blok pemotretan di Kelurahan Sumber Surakarta dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Pembagian blok pemotretan udara di Kelurahan Sumber, Surakarta.

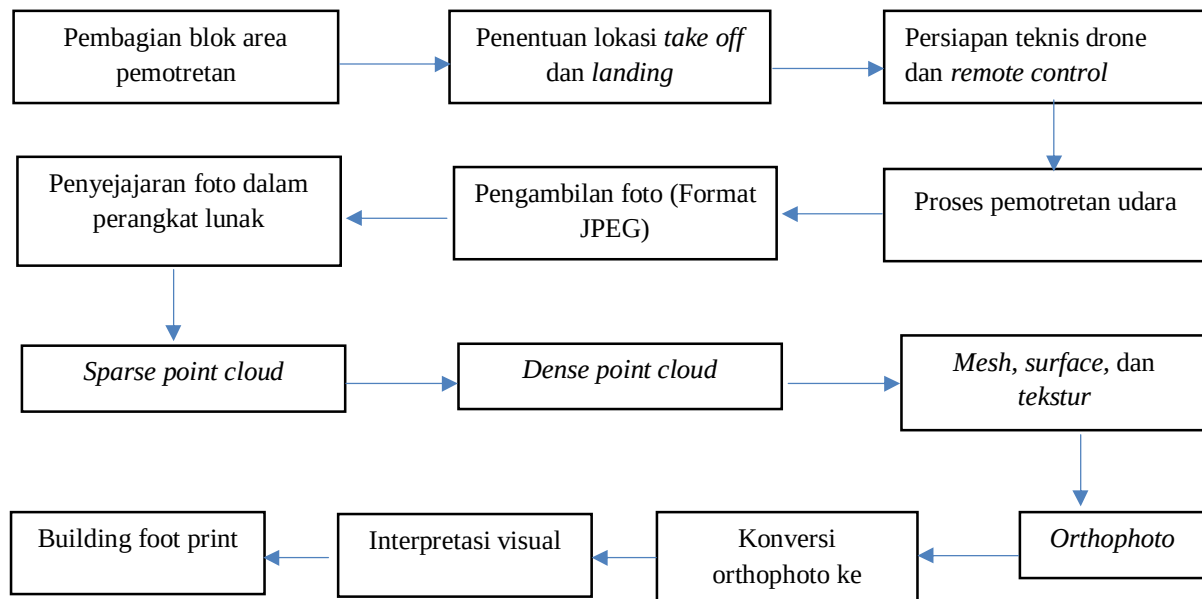
Di samping membagi daerah penelitian menjadi blok-blok yang lebih kecil, perlu diperhatikan juga mengenai penentuan lokasi *take off* dan *landing* pada setiap blok atau beberapa blok sekaligus. *Take off* dan *landing* merupakan faktor yang krusial dalam pemotretan udara dengan UAV. Kesalahan pemilihan lokasi *take off* dan *landing* dapat berakibat fatal baik bagi UAV maupun pilot yang mengandalkan UAV. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan lokasi *take off* dan *landing* adalah: 1) ketersediaan lahan terbuka yang cukup, 2) permukaan *take off* dan *landing* yang datar, rata, stabil, dan jauh dari tubuh air, 3) area *take off* dan *landing* terbebas dari adanya kabel listrik, kabel telepon, vegetasi atau kabel-kabel yang serupa yang dapat mengganggu proses *take off* dan *landing*. Beberapa contoh lokasi yang dijadikan sebagai lokasi *take off* dan *landing* kegiatan pemotretan udara dengan UAV di Kelurahan Sumber, Surakarta, Indonesia dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3. Beberapa contoh lokasi *take off* dan *landing* UAV di Kelurahan Sumber, Surakarta, Indonesia

B. Tahap pemrosesan foto udara

Pada tahap ini foto yang diambil di lapangan menggunakan UAV, akan diproses untuk menjadi orthophoto dengan bantuan perangkat lunak Agisoft Photoscane pro. Ada beberapa tahapan pada pemrosesan foto udara tersebut. Yang pertama adalah proses penyejajaran foto atau sering disebut sebagai *align photo*. Tahapan yang kedua adalah membuat *sparse point cloud* dan *dense point cloud*, tahapan yang terakhir adalah membangun *mesh*, *tekstur*, dan orthophoto. Setelah terbangun orthophoto, kemudian dilakukan interpretasi visual berbasis *objek based image analysis (OBIA)* dengan menggunakan beberapa unsur visual interpretasi. Pada penelitian ini, delineasi dibatasi hanya pada objek bangunan saja, sedangkan untuk tutupan lahan yang lain akan diabaikan terlebih dahulu. Langkah kerja proses pembuatan orthophoto hingga interpretasi visual *building foot print* dapat dilihat pada alur kerja pada Gambar 4 di bawah ini.



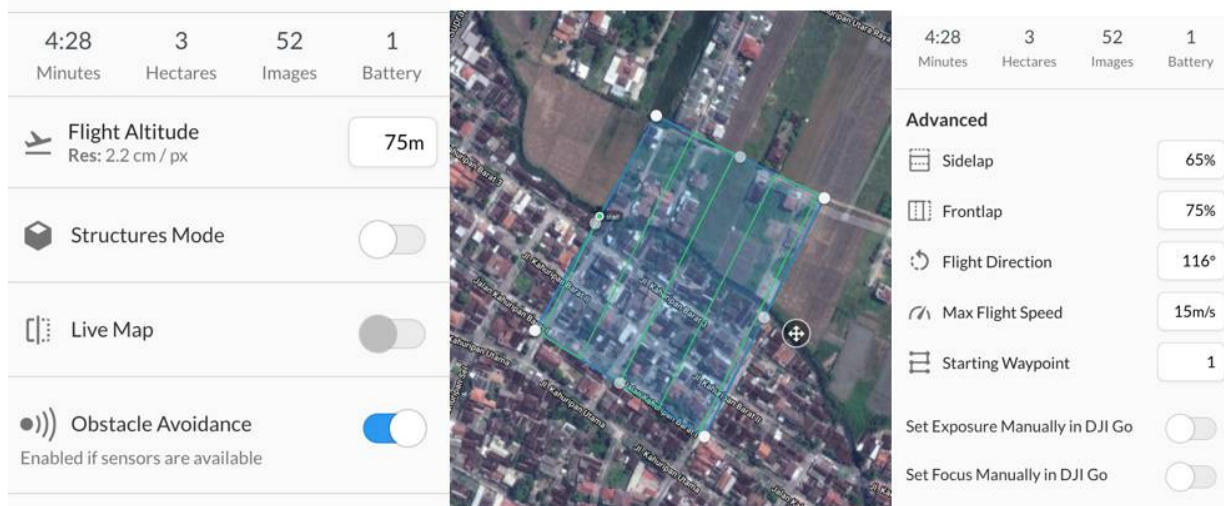
Gambar 4. Alur kerja penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penentuan jalur terbang, diketahui bahwa Kelurahan Sumber dapat dibagi menjadi 47 blok dengan luasan rata-rata 2 hingga 3 Ha. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya di metode penelitian, bahwa tidak ada aturan khusus mengenai berapa luasan area yang dianjurkan untuk sekali pengambilan foto udara. Yang perlu diperhatikan hanya jangkauan transmisi antara *remote control* dan drone itu sendiri. Demi alasan keamanan dan efisiensi kerja, luasan blok ditentukan minimum 2 ha dan maksimum 5 Ha. Jika dipaksakan lebih dari 5 Ha maka drone akan terbang di luar jangkauan transmisi *remote control* yang menyebabkan terjadinya hilang sinyal. Jika terjadi hal semacam ini, dengan otomatis drone tidak melanjutkan proses pemotretan hingga ke titik terakhir, namun drone akan terbang kembali ke lokasi *take off* dan *landing*, Sehingga foto yang didapat tidak lengkap dan akan mempengaruhi hasil.

Berdasarkan eksperimen di lapangan, diketahui beberapa parameter yang sangat cocok digunakan untuk proses pemotretan di daerah perkotaan adalah sebagai berikut: 1) Ketinggian terbang yang disarankan adalah 50 m – 70 m. Di bawah 50 m, proses pengambilan foto akan berlangsung lebih lama, gambar yang dihasilkan juga akan semakin detail dan banyak, dan berisiko jika terdapat objek-objek yang cukup tinggi. Jika terlalu tinggi (>70 m) gambar yang dihasilkan kurang detail, dan akan berdampak pada susahnyanya proses interpretasi visual pada tahap selanjutnya. Di samping itu terbang di

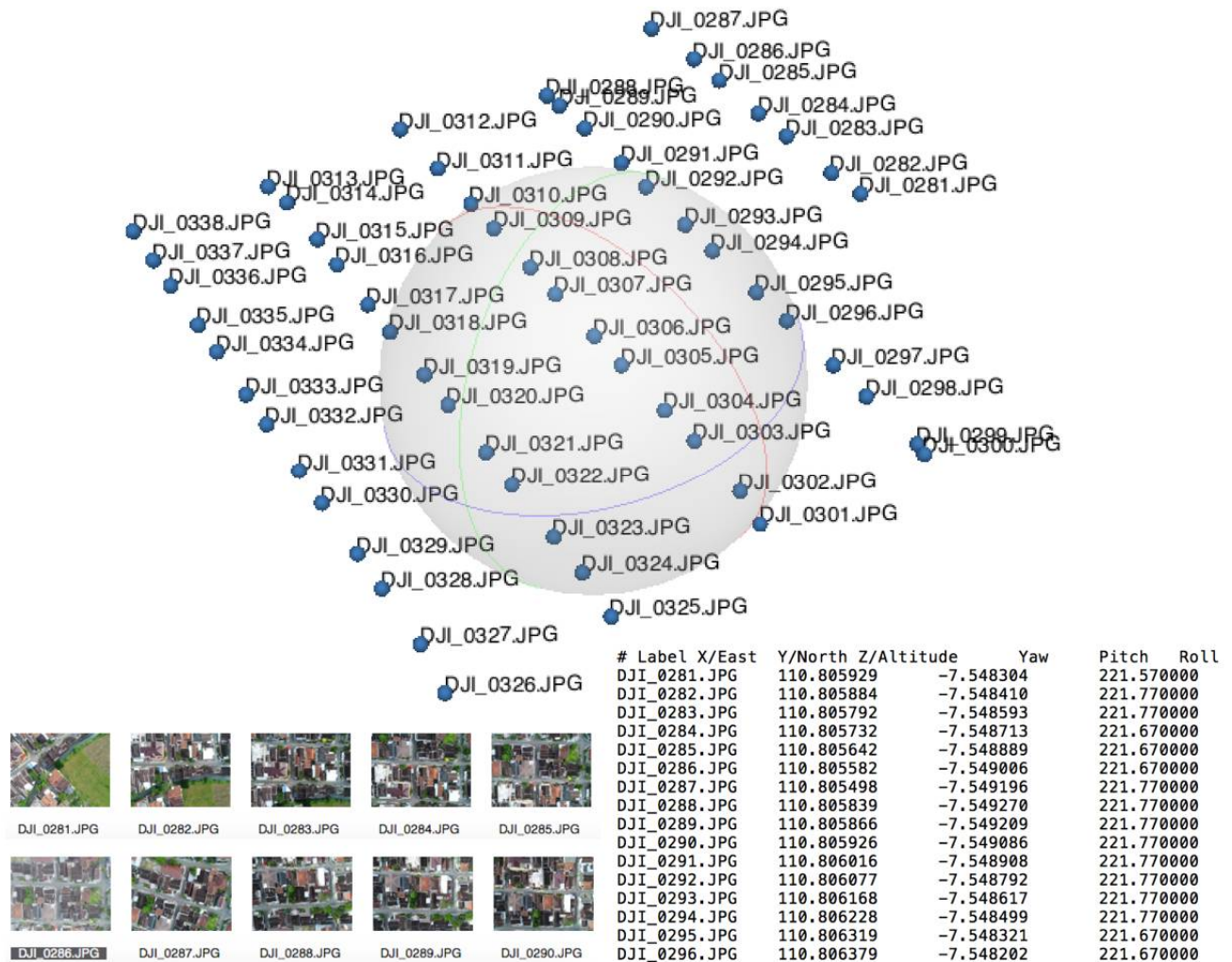
atas ketinggian 70 m cukup membahayakan lalu lintas penerbangan. 2) *Sidelap* dan *frontlap* (daerah yang bertampalan) diatur sebesar 65% dan 75%. Hal ini sangat berguna dalam proses mosaik foto. Semakin tinggi area *overlap* proses mosaik foto akan semakin baik, tetapi semakin besar area *overlap* maka foto yang dihasilkan akan semakin besar dan mempengaruhi efisiensi kerja mengingat waktu terbang sangat terbatas (30 menit). Contoh penentuan parameter terbang dan jalur terbang di blok 20, Kelurahan Sumber, Surakarta, Indonesia dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.



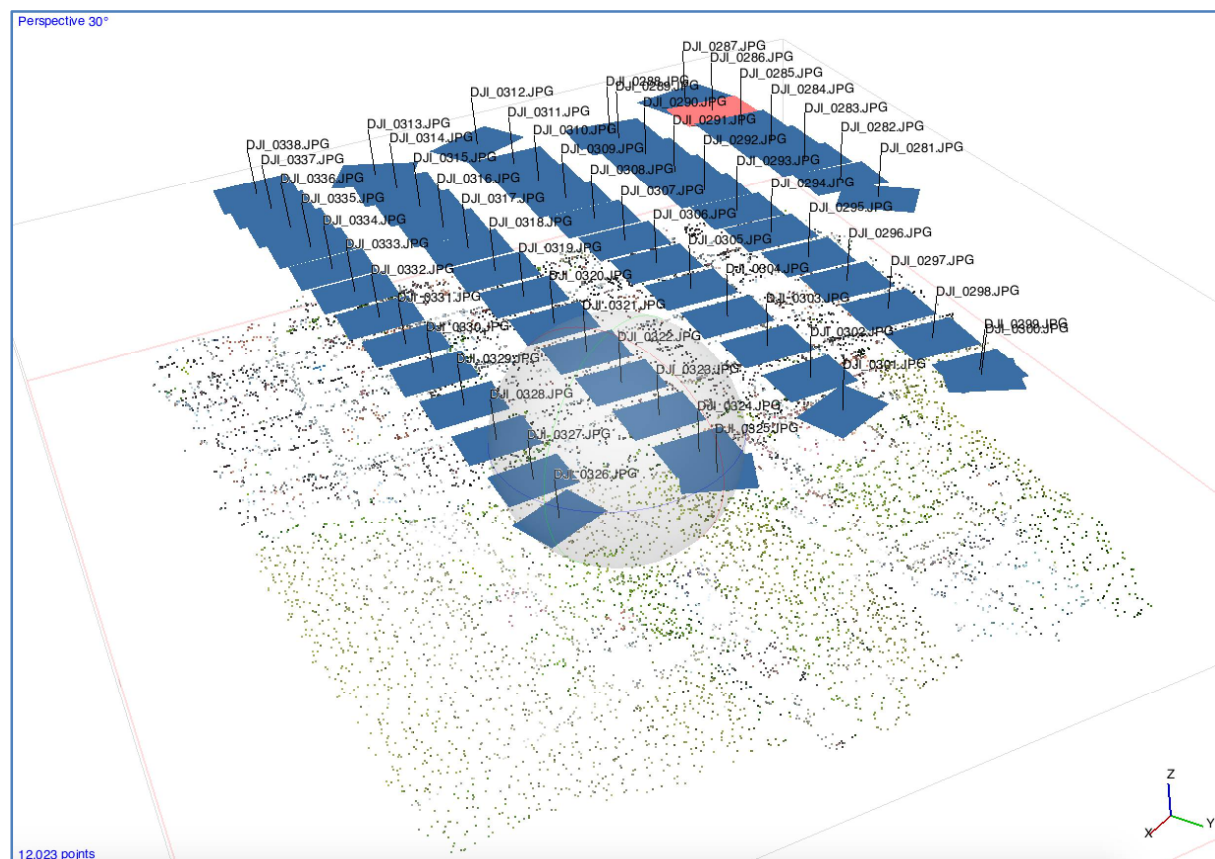
Gambar 5. Contoh parameter terbang dan jalur terbang yang digunakan di Blok 20, Kelurahan Sumber, Surakarta, Indonesia.

Blok 20 memiliki luasan 3 Ha dan berhasil dilakukan pemotretan udara dengan waktu hanya 4.28 menit dengan ketinggian terbang 75 m, sidelap 65% dan frontlap 75%. Blok 20 ini menghasilkan foto udara sebanyak 52 foto yang nantinya akan dilakukan proses mosaiking pada tahap selanjutnya. Dengan Parameter penerbangan ini dihasilkan foto udara yang cukup detail yang dapat digunakan untuk membedakan berbagai jenis tutupan lahan di daerah perkotaan.

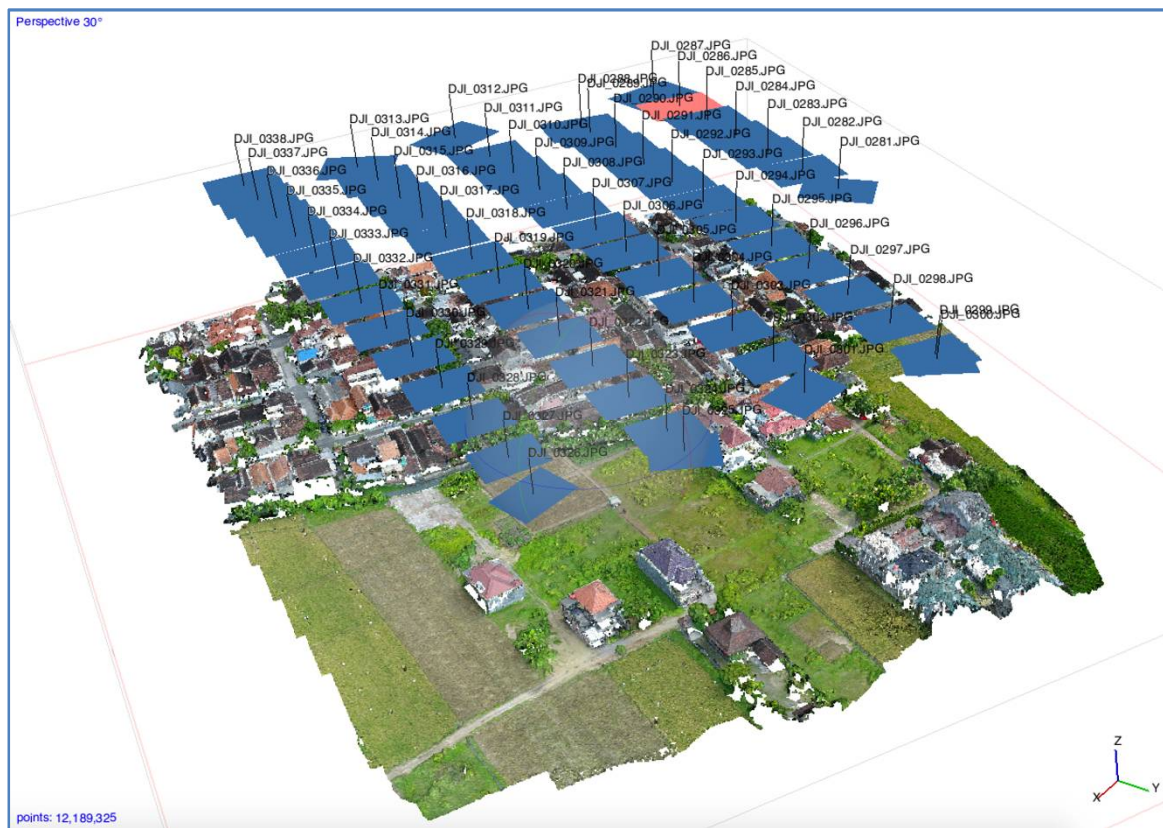
Pada proses pengolahan foto udara dalam perangkat lunak Agisoft photoscan pro dapat diketahui bahwa setelah dilakukan proses penyejajaran foto dan pembuatan *orthophoto* dapat diketahui bahwa semakin banyak foto dan semakin besar resolusi foto yang digunakan, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan *orthophoto*. Hal ini dikarenakan, proses mosaik yang dilakukan Agisoft berdasarkan titik ikat masing-masing foto dan kesamaan nilai piksel pada masing-masing foto. Semakin tinggi resolusi foto yang digunakan maka akan semakin banyak jumlah piksel yang harus diproses. Hasil pada setiap tahap pemrosesan foto hingga terbentuk *orthophoto* dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.

Gambar 6. Proses penyejajaran foto (*align* foto) dalam agisoft photoscan pro

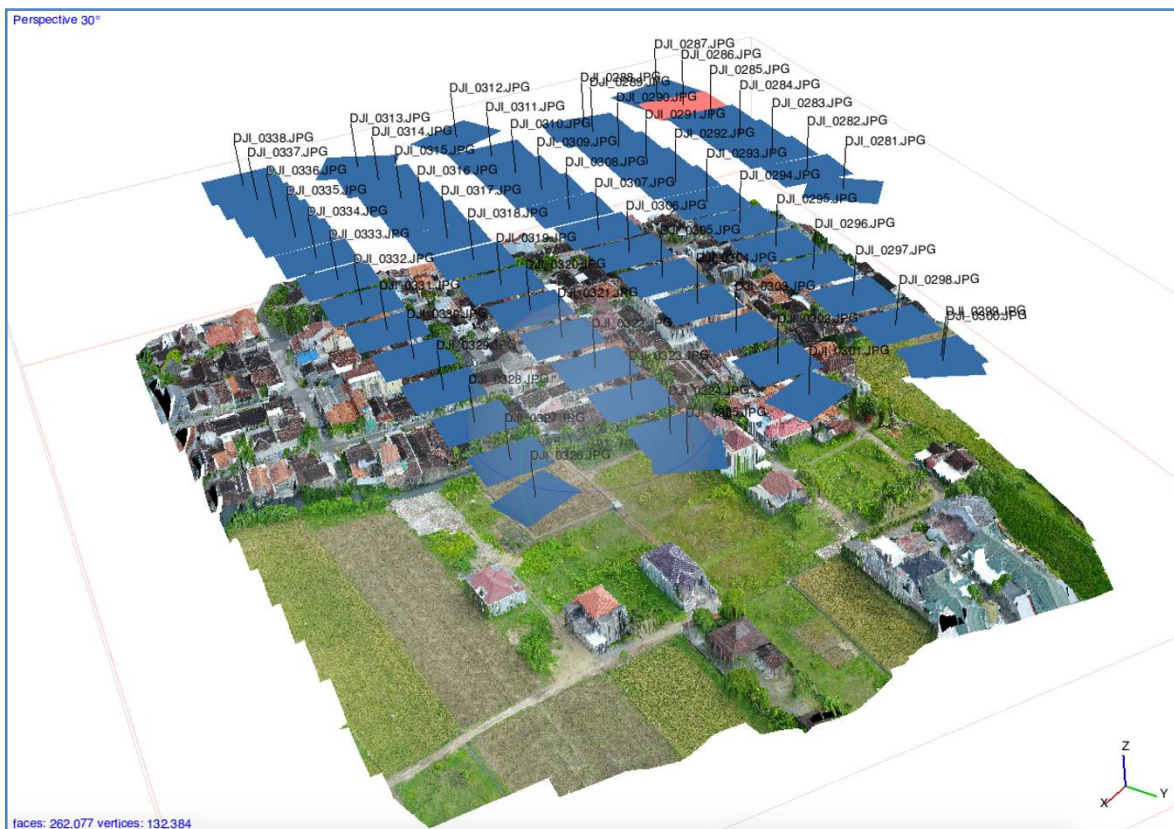
Proses penambahan foto dan penyejajaran foto ini hanya membutuhkan waktu yang sangat singkat sekitar 5 detik. Hal ini dikarenakan kamera yang digunakan pada phantom pro 4 sudah dilengkapi dengan GPS Glonass. Jika tidak kamera tidak dilengkapi dengan sistem navigasi, maka penentuan titik ikat dapat dilakukan secara manual dengan menambahkan skala lokal pada foto yang dianggap sebagai acuan. Tentu saja proses penyejajaran foto yang dilakukan tanpa kamera yang dilengkapi dengan GPS akan berlangsung lebih lama (Saputra, Rahardianto dan Gomez, 2017; Gomez, 2014). Setelah dilakukan *align* foto maka proses selanjutnya adalah ekstraksi data *sparse point cloud* dari foto yang digunakan dalam analisis. Foto ini akan diubah menjadi data point yang menunjukkan nilai piksel yang sama pada masing-masing foto. Proses ini membutuhkan waktu yang lebih lama. Dengan luasan blok 3 Ha dan jumlah foto 52 buah, membutuhkan waktu sekitar 9 menit, 25 detik dan menghasilkan data point sebanyak 12,023 point. Hasil *sparse point cloud* dapat dilihat pada Gambar 7.



Dense point cloud didapatkan dengan memproses data sparse point cloud yang sudah dimiliki. Pembuatan dense cloud merupakan proses yang paling lama. Setidaknya membutuhkan waktu 26 menit 57 detik untuk merubah *sparse point cloud* menjadi *dense point cloud*. Proses ini merubah 12,023 *point* menjadi 12,189,325 *point* (Gambar 8). *Mesh* dan *texture* merupakan analisis lanjutan yang merupakan proses interpolasi *dense point cloud* untuk mendapatkan model permukaan sebelum dihasilkan *orthophoto* pada tahap akhir. *Orthophoto* tidak akan terbentuk jika *mesh* dan *texture* belum dilakukan terlebih dahulu. Hasil akhir *orthophoto* pada proses *structure from motion* (SfM) ini dapat dilihat pada Gambar 9. Untuk selanjutnya hasil akhir *orthophoto* inilah yang akan digunakan dalam visual interpretasi tutupan lahan dalam kasus ini adalah tutupan lahan berupa *building footprint*.

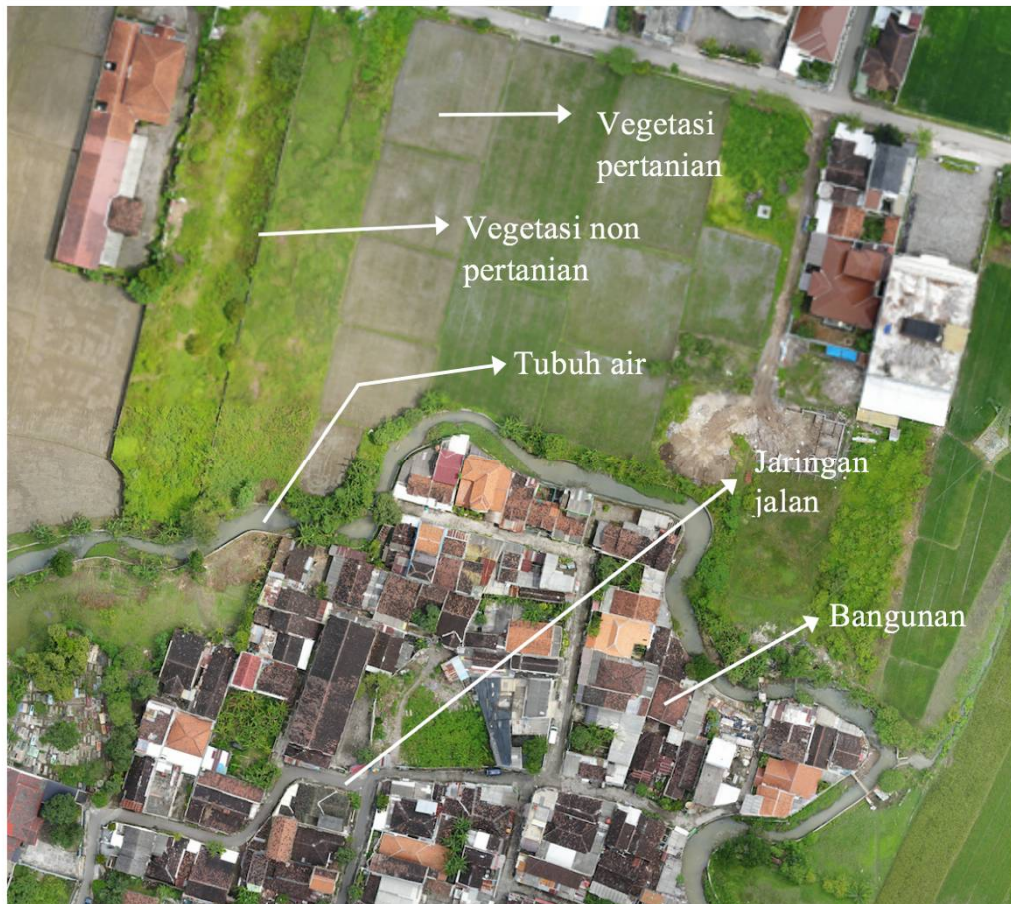


Gambar 8. Dense point clouds Blok 20 Kelurahan Sumber, Surakarta, Indonesia.



Gambar 9. Orthophoto Blok 20 Kelurahan Sumber, Surakarta, Indonesia

Berdasarkan hasil *orthophoto* yang dihasilkan dalam proses *structure from motion*, tutupan lahan di perkotaan tidak terlalu sulit untuk diidentifikasi. Perbedaan antara *built up area* tidak terlalu sulit untuk dibedakan. Dengan menggunakan konsep *Object Based Image Analysis* (OBIA) menggunakan unsur-unsur visual interpretasi, secara umum tutupan lahan di Kelurahan Sumber dapat dibedakan menjadi beberapa kategori yaitu bangunan, tubuh air, lahan terbuka, jaringan jalan, vegetasi non pertanian dan vegetasi pertanian. Sebagai contoh pada Blok 2 Kelurahan Sumber, dapat diketahui dengan jelas perbedaan antara bangunan, tanaman pertanian, tubuh air dan jaringan jalan (Gambar 10).



Gambar 10. Identifikasi tutupan lahan Blok 2 Kelurahan Sumber, Surakarta, Indonesia

Berdasarkan kenampakan visual, tidak mudah membedakan objek bangunan dan non bangunan, karena bentuk, pola, rona, ukuran serta asosiasi bangunan sangat spesifik. Analisis lebih dalam sangat dibutuhkan ketika ingin membedakan antara vegetasi pertanian dan non pertanian. Deri segi pola, warna, bentuk, kedua objek ini hampir sama. Hanya saja tekstur dari vegetasi non permukiman ini sedikit terkesan lebih kasar dibandingkan dengan vegetasi pertanian. Hal ini dikarenakan, vegetasi pertanian merupakan vegetasi yang ditanam dan dipelihara dengan baik, sehingga pada umumnya memiliki ketinggian yang seragam. Pada saat dilakukan pemotretan foto udara ini terlihat ketinggian yang seraga ini menghasilkan kesan yang lebih halus dibandingkan dengan vegetasi non pertanian seperti semak yang tumbuh liar dan alami.

Pada tahap analisis ini belum dilakukan identifikasi jenis bangunan. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut disertai dengan observasi lapangan untuk melakukan proses validasi. Hasil identifikasi tutupan

lahan bangunan dan non bangunan sebagian Kelurahan Sumber dapat dilihat pada Gambar 11 berikut ini.



Gambar 11. Hasil delineasi tutupan lahan bangunan dan non bangunan menggunakan produk pemotretan udara UAV.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa, tutupan lahan utama bangunan, vegetasi, dan tubuh air dapat dibedakan dengan jelas menggunakan *orthophoto* produk pemotretan udara dengan UAV (Drone). Dengan bermodal unsur interpretasi visual seperti rona/warna, ukuran, bentuk, pola, tekstur, dan asosiasi, jenis tutupan lahan lain yang lebih detail juga dapat diidentifikasi. Pada tahap pemetaan tutupan lahan, diketahui bahwa pemetaan dengan drone dapat dijadikan sebagai alternatif untuk menggantikan pemetaan tutupan lahan secara konvensional menggunakan citra satelit yang relatif mahal. Disamping itu, pemetaan dengan drone dapat dilakukan dengan cepat dan fleksibel, bahkan dapat dilakukan secara berulang-ulang untuk mendapatkan kebutuhan data berkelanjutan (*time series*). Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan pemetaan tutupan lahan dengan drone di daerah perkotaan adalah pemilihan lokasi *take off* dan *landing*. Karena padatnya daerah perkotaan dan banyaknya aktivitas masyarakat, terkadang pemilihan lokasi ini menjadi sedikit susah. Lokasi *take off* dan *landing drone* harus terbebas dari kegiatan masyarakat dan obyek penghalang karena alasan keamanan. Disamping itu, pilot perlu memperhatikan obyek-obyek kecil yang terdapat di sekitar area pemotretan. Seperti pada kasus pemotretan blok 34, pada saat *landing* drone terjatuh oleh tali benang anak-anak yang sedang bermain layang-layang. Akibatnya benang masuk ke motor penggerak baling-baling dan menghambat gerakan baling-baling.

Terkait akurasi, ke depannya perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk melakukan uji akurasi hasil foto dari pemetaan drone. Sehingga dapat diketahui dengan jelas, seberapa jauh foto drone ini dapat dijadikan acuan atau rujukan berbagai kajian perkotaan. Namun, berdasarkan uji akurasi Saputra, Rahardiatno, dan Gomez (2017) dapat diketahui bahwa akurasi pemotretan dengan metode serupa mencapai 0,5-0,6 m pada obyek kajian singkapan batuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Gomez, Christopher. (2014). *Structure-form-Motion and wavelet decomposition for outcrop analysis*. CCSD, Centre pour la Communication Scientifique Directe. HAL, archives-ouvertes,
- Gonçalves, J.A. (2016). Automatic orientation and mosaicking of archived aerial photography using structure from motion. *The international of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, Vol. XL-3/W4.
- Kerle, N. & Damen, M. (2011). Spatial data for risk management. In C.V. Westen, D., Alkema. M. Damen, N. Kerle, N.C. Kingma. (Eds.) *Multi hazard risk assessment, distance education course, guide book, version 2011*. Twente, The Netherland: United Nations University-ITC School on Disaster Geo-Information Management (UNU-ITC-DGIM).
- Saputra, A., Rahardianto, T., Gomez, C. (2017). The application of structure from motion (SfM) to identify the geological structure and outcrop study. *AIP conference proceeding*, 1857, 030001 (2017); doi: 10.1063/1.4987060.
- Turner, B.L., Lambin, E.F. & Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Science* 104 (52): 20666-20671.
- Wulder, M.A., Crops, N.C., Roy, D.P., White, J.C., & Hermosilla, T. (2018). Land cover 2.0., *International Journal of Remote Sensing*. 39:12, 4254-4284, DOI: 10.1080/01431161.2018.1452075.