

Uji Akurasi Hasil Teknologi Pesawat Udara Tanpa Awak (*Unmanned Aerial Vehicle*) Dalam Aplikasi Pemetaan Kebencanaan Kepesisiran

Rini Meiarti¹, Toshikazu Seto², dan Junun Sartohadi³

¹Geoinformasi Universitas Gadjah Mada, Teknika Utara Pogung Kidul Yogyakarta

²Center for Information Science *The University of Tokyo*, Bunkyo Tokyo

³Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada, Flora Bulaksumur Yogyakarta

*E-mail: rmeiarti@gmail.com

Received: 13 09 2018 / Accepted: 11 12 2018 / Published online: 17 01 2019

ABSTRAK

Teknologi perolehan data spasial menggunakan sistem pesawat udara tanpa awak (*UAV/Unmanned Aerial Vehicle*) menjadi salah satu teknologi pemotretan udara yang menghasilkan data spasial detil, namun penggunaannya untuk pemetaan khususnya pemetaan kebencanaan masih perlu dikaji lebih mendalam. Tujuan penelitian ialah untuk menguji ketelitian geometrik dan semantik Foto Udara Format Kecil (FUFK) dari teknologi *UAV* yang ke depannya data akan digunakan sebagai input pemetaan kebencanaan. Ketelitian geometrik (horizontal dan vertikal) diuji dengan membandingkan antara koordinat mosaik ortho dan *Digital Terrain Model (DTM)* terhadap pengukuran *GNSS RTK*. Data spasial yang dihasilkan dari teknologi *UAV* pada penelitian ini mempunyai ketelitian geometrik 0,649 m horizontal dan 1,494 m vertikal sehingga masih dapat digunakan untuk pemetaan skala besar 1:5.000 (Sutanto, 2013). Uji ketelitian semantik dengan nilai NIIRS level 6 menunjukkan bahwa FUFK hasil teknologi *UAV* ini mampu mempermudah interpretasi objek geografik.

Kata Kunci: *UAV*, Geometrik, Semantik, Pemetaan, Kebencanaan

ABSTRACT

Spatial data acquiring technology which utilizes Unmanned Aerial Vehicle (UAV) is a one of the aerial photography technology that produces detailed spatial data. Yet, its utilizing for particular mapping such as disaster mapping must be needed more profound. Research aim is to geometric resolution. Geometric accuracy is gained by comparing xyz coordinates from ortho-mosaic and Digital Terrain Model (DTM) to GNSS RTK survey. Semantic accuracy is examined using visual interpretation from 10 interpreters to find the smallest object in ortho-mosaic and addressed it to NIIRS level. Spatial data that acquired by UAV technology in this research have geometric accuracy 0.649 m horizontal and 1.494 m vertical, it still can be used for large scale mapping, 1:5,000. Semantic accuracy test with NIIRS level 6 indicates that the results of UAV technology are able to facilitate the interpretation of geographical objects.

Keywords: *UAV*, Geometrik, Semantic, Mapping, Disaster

PENDAHULUAN

Manajemen kebencanaan yang akurat bergantung pada ketersediaan data spasial yang akurat pula. Data spasial yang akurat dapat menjadi informasi kebencanaan yang dapat dipahami masyarakat dengan mudah. Informasi yang baik mengenai kebencanaan diawali dari data dan analisis yang benar. Peta kebencanaan adalah salah satu data yang penting untuk digunakan sebagai salah satu dasar analisis dalam memberikan informasi yang tepat kepada publik. Kenyataan yang ada, peta dasar skala besar masih belum tersedia untuk semua wilayah Indonesia. Di sisi lain, keperluan mitigasi bencana terkadang tidak cukup berhenti pada skala tinjau (kabupaten), khususnya data dasar yang dapat dijadikan untuk input pemodelan kebencanaan seperti pemodelan tsunami, longsor, dan perencanaan evakuasinya.

Teknologi pesawat tanpa awak yang sekarang mulai marak dikenal masyarakat, sering disebut dengan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* atau *drone* merupakan salah satu alternative teknologi baru untuk pemetaan khususnya pemotretan udara. Peneliti dan praktisi luar negeri maupun dalam negeri semakin banyak yang menggunakan dan mengembangkan UAV untuk berbagai aplikasi pemetaan. UAV menjadi salah satu alternatif teknologi penginderaan jauh yang murah sebagai sumber data spasial (Bendea. H dkk., 2008; Adam, S.M dkk., 2011; Rokhmana, 2012).

Penelitian pemetaan kebencanaan pesisir menggunakan UAV pernah dilakukan oleh Marfai dkk (2015) dan Suharyadi dkk (2014) di objek wisata pesisir pantai Kabupaten Gunungkidul. Penelitian tersebut memanfaatkan teknologi UAV untuk menghasilkan data ketinggian (*DSM/DTM/DEM*) sebagai data input untuk pemodelan run-up tsunami dan data ortofoto yang

diturunkan menjadi peta tematik kebencanaan lainnya dengan interpretasi visual. Lee dkk (2014) menggunakan UAV untuk pemetaan area terdampak banjir di sebagian wilayah Busan, Korea. Barreiro dkk (2014) memodelkan aliran *run off* untuk perawatan jalan di Semenanjung Iberia, Spanyol yang sering terjadi banjir akibat hujan badai dari akuisisi data UAV. Hadmoko dkk (2014) memodelkan aliran banjir lahar dingin di sebagian hulu Sungai Senowo, Magelang, Jawa Tengah, menggunakan *DSM* yang didapatkan dari pengolahan foto udara hasil perekaman dengan UAV. Meiarti (2016) menggunakan data UAV (*DSM/DEM*) untuk menghitung volume longsor di sub DAS Bompon, Magelang, Jawa Tengah.

Penggunaan teknologi UAV untuk menghasilkan data mosaik ortofoto dan data ketinggian berupa *Digital Surface Model (DSM)* sebagai data spasial dasar untuk pemetaan kebencanaan dalam hal ini bencana tsunami perlu diketahui akurasi. Akurasi geometrik dari foto udara hasil akuisisi dengan teknologi UAV sangat dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor-faktor seperti jenis wahana, jenis sensor, ketinggian terbang, waktu akuisisi, kondisi cuaca, perangkat lunak pemrosesan, dan kemampuan sumberdaya manusia/operator. Pembuktian akurasi tersebut akan mempengaruhi tingkat kepercayaan terhadap peta yang dihasilkan. Peta dengan tingkat akurasi atau ketelitian tinggi dapat menambah kekuatan dari informasi untuk pengambilan keputusan bagi pemangku kebijakan.

Pemerintah lewat Peraturan Kepala (Perka) BIG No. 14 tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar telah mengatur mengenai akurasi/ketelitian peta yang dapat dipertanggungjawabkan secara geometrik. Peraturan tersebut memberikan gambaran

mengenai metode uji akurasi untuk mengetahui ketelitian dan tingkat kesalahan yang diperbolehkan satu peta pada skala tertentu. Penggunaan UAV di Indonesia masih jarang yang menginformasikan ketelitian dari foto udara hasil akuisisinya. Cara pengukuran tingkat akurasi geometrik tersebut masih belum secara mudah diketahui oleh para peneliti maupun praktisi dalam menggunakan data foto udara hasil akuisisi UAV. Rokhmana (2015) mengatakan bahwa kualitas posisi horizontal dari foto udara hasil UAV biasanya mampu pada kisaran $2 \times \text{Ground Square Distance}$ (GSD), sedangkan akurasi vertikal biasanya berada pada kisaran $3 \times \text{GSD}$ atau berada pada rentang 0,5 – 2,5 meter.

Ketelitian foto udara format kecil produk UAV masih sering menjadi pertanyaan bagi pengguna maupun calon pengguna teknologi tersebut. Penelitian yang menginformasikan mengenai akurasi geometrik foto udara hasil UAV perlu diperbanyak dan diinformasikan kepada publik. Penelitian ini salah satunya diarahkan untuk turut serta berkontribusi menjawab permasalahan tersebut, apakah hasil dari foto udara hasil akuisisi UAV ini secara ketelitian geometrik dapat digunakan untuk pemetaan skala besar sesuai aturan pemerintah berdasarkan Perka BIG No. 14 tahun 2014 tentang Ketelitian Peta Dasar.

Ketelitian foto udara yang diwakili oleh resolusi spasial yang berukuran sampai sentimeter, seharusnya mempunyai daya interpretabilitas suatu objek yang tinggi. Daya interpretabilitas tersebut merupakan kualitas semantik, yang dapat menginformasikan kualitas dari foto udara. Kemudahan interpretabilitas objek mengenai kualitas foto berdasarkan ketelitian semantik dalam kaitannya dengan kemudahan interpretabilitas objek. Permasalahan uji

ketelitian semantik berdasarkan daya interpretabilitas objek ini diharapkan dapat terjawab pada penelitian ini.

Penelitian ini menggunakan pesawat model dengan tipe sayap *fixed wing* merk *Bixler*. Pesawat tersebut awalnya digunakan untuk hobi aeromodelling, seiring perkembangan teknologi, maka instalasi komponen microcontroller dapat dilakukan, sehingga gerak pesawat tersebut dapat diotomasi menggunakan autopilot yang terpasang di dalamnya sebagai processor. Pesawat jenis tersebut berbiaya murah untuk dijadikan UAV sebagai wahana pemotretan udara. (Rosaji, 2015). Adapun spesifikasi airframe bixler tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi *airframe bixler*

<i>Material</i>	EPO Foam
<i>Wingspan</i>	1400 mm
<i>Length</i>	925 mm
<i>Wing area</i>	26 dm ²

Selain berbiaya murah, pesawat jenis ini relatif lebih mudah untuk dioperasikan karena ukurannya yang tidak terlalu besar dan masih mampu untuk mengangkat kamera saku sebagai sensor. Daya jelajah pesawat bixler pada kondisi normal mampu mencakup area pemotretan seluas 100-200 hektar sekali terbang pada ketinggian 200-300 m di atas permukaan tanah. UAV berjenis *fixed wing* juga lebih efektif untuk pemetaan area yang luas daripada multirotor, terkait kecepatan, resistensi terhadap angin, ketinggian terbang, dan daya jelajah. Perbedaan penggunaan *fixed wing* UAV dan multirotor dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan *fixed wing UAV* dan *rotary*

	<i>Fixed wing UAV</i>	<i>Multirotor</i>
Tujuan penggunaan	Pemetaan	Pemetaan kecil dan inspeksi
Aplikasi	Pemetaan	Inspeksi,

	kadaster (rural), pertanian, GIS, pertambangan, lingkungan, bencana, kemanusiaan, konstruksi, dll	cinematografi/videografi, real estate, pemetaan kadaster (urban), konstruksi, respon darurat, dll
Kecepatan di udara	Tinggi	Rendah
Cakupan area	Luas	Kecil
Resolusi/ ukuran piksel	Cm/inch per piksel	Mm per piksel
Area take off landing	Besar	Sangat kecil
Resistensi angin	Tinggi	Rendah

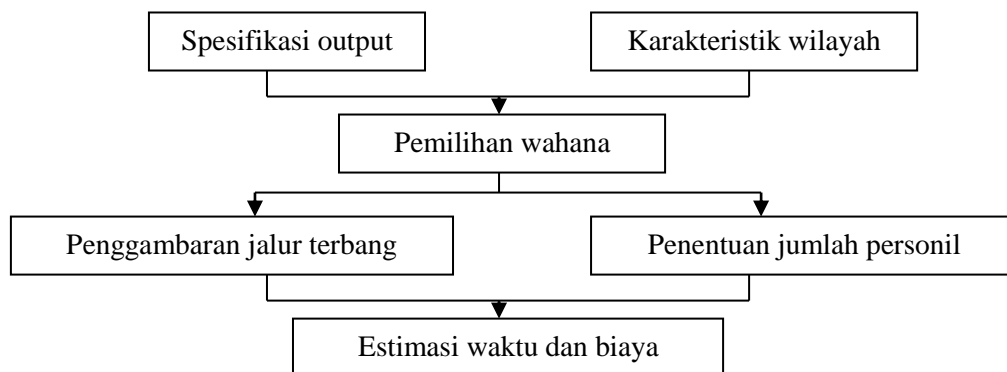
Sumber: Sensefly, 2015 dengan modifikasi

Perencanaan Pemotretan Udara dan Pembuatan Jalur Terbang

Perencanaan pemotretan udara merupakan hal penting yang akan mempengaruhi kualitas foto udara yang didapatkan. Perencanaan ini berupa spesifikasi output yang diinginkan/tujuan pemotretan, pengenalan karakteristik wilayah yang dipotret, pemilihan wahana, penggambaran jalur terbang, penentuan jumlah personil, estimasi waktu dan biaya (Rosaji, 2015). Tujuan pemotretan udara dilakukan ataupun spesifikasi output yang diinginkan menjadi kunci awal dalam menentukan parameter pemotretan selanjutnya. Contoh mengenai spesifikasi output adalah skala pemetaan, dimana

foto udara tersebut nantinya akan digunakan untuk memetakan skala tertentu yang berhubungan dengan resolusi spasial foto (ukuran piksel). Ukuran piksel dapat mempengaruhi penentuan ketinggian terbang dan pemilihan sensor.

Karakteristik wilayah perlu diketahui untuk dapat merencanakan pemotretan dengan baik. Karakteristik wilayah yang dimaksud seperti bentuk dan luas wilayah, iklim/cuaca, kecepatan dan arah hadap angin, kondisi topografi. Hal ini memberikan pertimbangan dalam pemilihan jenis wahana UAV yang tepat seperti multirotor atau *fixed wing*, jumlah personil, waktu pemotretan dan biaya yang dibutuhkan. Pemilihan jenis wahana UAV berkaitan dengan kapabilitas wahana UAV untuk digunakan dalam pemetaan. Pemilihan jenis UAV setidaknya mempertimbangkan beberapa faktor antara lain kemampuan maneuver, payload, daya jelajah, dan ketinggian terbang (Rosaji, 2015). Diagram alir perencanaan pemotretan udara menggunakan teknologi UAV disajikan pada Gambar 1. Penggambaran jalur terbang (*flight plan*) setidaknya memperhitungkan beberapa parameter meliputi penentuan arah jalur terbang sesuai bentuk dan luas wilayah, resolusi spasial, ketinggian terbang, penentuan *sidelap endlap*.



Gambar 1. Diagram alir perencanaan pemotretan udara menggunakan teknologi UAV

METODE

Metode penelitian dimulai dari perencanaan pemotretan udara dengan UAV, yaitu bagaimana merencanakan pemotretan udara untuk tujuan pemetaan. Setelah terdapat peta jalur terbang dari perencanaan, maka dilakukan pemotretan udara di wilayah kajian. Hasil foto udara tersebut kemudian diolah menjadi data ortofoto dan *Digital Elevation Model* (DEM) untuk digunakan sebagai dasar pemetaan. Akurasi geometrik data foto udara yang dihasilkan dari teknologi UAV diuji menggunakan perbandingan dengan data hasil pengukuran sampel titik di lapangan menggunakan *GPS Geodetic* yang dinamakan *Independent Check Point* (ICP). Uji akurasi geometrik dan semantik dapat menjawab tujuan penelitian.

Alat Dan Bahan Yang Digunakan

1. Seperangkat peralatan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) untuk pemotretan udara. Jenis pesawat *fixed wing* dengan tipe *bixler*.
2. Sensor kamera yang digunakan adalah kamera saku canon powershoot A2500.
3. Seperangkat GPS Geodetic, untuk pengambilan GCP dan ICP di lapangan
4. *Hand held* GPS penerima
5. Seperangkat computer, untuk pengolahan data dan penyelesaian tulisan
6. Perangkat lunak pendukung, yaitu *Agisoft Photoscan*, *Profesional 9.0.*, dan *ArcGIS 10.2.*; untuk pengolahan maupun pemodelan data dan penyajian peta.
7. Citra resolusi tinggi dari *Google Earth* untuk perencanaan jalur terbang dan pemilihan lokasi *take-off* dan *landing* pesawat UAV.
- 8.

Tahap Pelaksanaan

1. Perencanaan pemotretan udara dengan UAV, penggambaran jalur terbang.

2. Penentuan desain sebaran GCP dan ICP untuk pengolahan foto udara format kecil dan uji ketelitian geometri.
3. Pemilihan area *take off* dan landing pesawat.
4. Pemotretan udara wilayah kajian.
5. Pengukuran titik GCP dan ICP di lapangan dengan menggunakan GPS Geodetik,
6. Pengolahan foto udara hasil pemotretan UAV dengan teknik fotogrametri digital untuk menghasilkan data DSM dan mosaik ortofoto.
7. Penghitungan uji ketelitian geometri ortofoto dan DTM hasil pemrosesan fotogrametri digital terhadap foto udara.
8. Pengenalan kualitas semantik, interpretabilitas objek pada mosaik ortofoto berdasarkan skala NIIRS.

Perencanaan Pemotretan Udara Dengan Teknologi UAV

Output dari foto udara pada penelitian ini diharapkan mempunyai kedetailan dan akurasi geometri baik horizontal maupun vertikal yang tinggi, sebagai data dasar pemetaan kebencanaan tsunami. Peta direncanakan mampu memenuhi standar ketelitian pada skala 1:5.000. Resolusi spasial yang dalam hal ini diwakili oleh ukuran piksel di lapangan (GSD) minimum 0,5 m, namun untuk foto udara GSD dapat direncanakan lebih detail pada kisaran 0,05 – 0,1 m per piksel. Penelitian ini dirancang untuk mendapatkan ukuran GSD < 10 cm.

Luasan wilayah pemotretan ±84,44 ha, yang mencakup Pantai Somandeng di sisi barat, Pantai Pulang Syawal, dan Pantai Tenggle. Garis pantai cenderung memanjang dari arah barat laut ke tenggara. Arah angin dominan dari arah tenggara. Pantai Pulang Syawal merupakan pantai yang terbentuk akibat

aktivitas karst, di samping itu kunjungan wisatawan juga tinggi yang menyebabkan semakin sedikitnya area *take off* dan *landing* pesawat. Area pemotretan udara di wilayah penelitian disajikan Gambar 2.



Gambar 2. Area pemotretan udara di Pantai Pulang Syawal dan sekitarnya (Gunungkidul)

Pembuatan Peta Jalur Terbang (*Flight Plan*)

Penggambaran jalur terbang membutuhkan parameter yang harus diketahui terlebih dahulu seperti ukuran piksel yang diinginkan, spesifikasi sensor kamera, ketinggian terbang, arah hadap jalur terbang, dan lain sebagainya. Hal pertama yang dilakukan untuk memenuhi spesifikasi output GSD < 10 cm adalah menentukan ketinggian terbang, sehingga perhitungan parameter terbang lainnya adalah sebagai berikut:

1. Ketinggian terbang
 $(H_g) = (GSD \times f) / \text{pix}$
 $= (0,08 \text{ m} \times 5 \text{ mm}) / 0,00134 \mu\text{m}$
 $= 298,5 \text{ m} \sim \text{dibulatkan } 300 \text{ m}$
 agl
2. *Endlap sidelap*, direncanakan *endlap* sebesar 80% dan *sidelap* 60%
3. Arah hadap jalur terbang, arah hadap jalur direncanakan sejajar dengan garis pantai, yaitu mengarah dari tenggara ke barat laut. Lebar CCD kamera tegak lurus terhadap jalur terbang dan tinggi CCD kamera searah dengan jalur terbang.

4. Cakupan area per foto, didapatkan dari jumlah piksel digital dikalikan dengan GSD yang direncanakan. Output foto digital dari kamera canon powershoot A2500 untuk *image width* (w) *image height* (h) adalah 4608x3456, sehingga apabila GSD 8 cm, maka cakupan area per foto di lapangan sebagai berikut:

$$(A) = (nW_{\text{pix}} \times nH_{\text{pix}}) \times GSD^2$$

$$= (4608 \times 3456) \times (0,08 \text{ m})^2$$

$$= 101.921,58 \text{ m}^2$$

5. Jarak antar jalur terbang dan jumlah jalur terbang, dipengaruhi oleh sidelap dan lebar foto di lapangan. Perhitungan jarak antar jalur terbang (SP) dan jumlah jalur terbang (nP) sebagai berikut:

$$(SP) = W \times (100 - \text{sidelap}) / 100$$

$$= 368,64 \text{ m} \times (100 - 60) / 100$$

$$= 147,456 \text{ m}$$

6. Jarak antar foto udara pada satu jalur terbang (basis udara-B), dihitung dengan membagi panjang jalur terbang terhadap panjang cakupan foto yang searah dengan jalur terbang dikurangi besaran *endlap*. Perhitungannya sebagai berikut:

$$(B) = H \times ((100 - \text{endlap}) / 100)$$

$$= 276,48 \text{ m} \times (100 - 80) / 100$$

$$= 55,29 \text{ m}$$

7. *Shutter release*, merupakan mekanisme pemotretan pada kamera untuk memotret objek. Kamera memotret berdasarkan hasil dari basis udara (B) yang digunakan untuk penentuan kapan dan pada posisi dimana foto dipotret saat pesawat terbang mengikuti jalur terbang. *Shutter release* atau proses kamera memotret objek diotomasi berdasarkan interval waktu (*trigger by time*). Otomasi pada kamera merk *Canon* untuk dapat

memotret secara otomatis menggunakan firmware CHDK (*Canon hack development kit*) yang dipasang pada kamera. Pemotretan pada penelitian ini menggunakan interval setiap 2 detik, dimana kamera akan melakukan pemotretan secara otomatis, hal ini dikarenakan jarak basis udara didekati pada interval pemotretan tiap 2 detik.

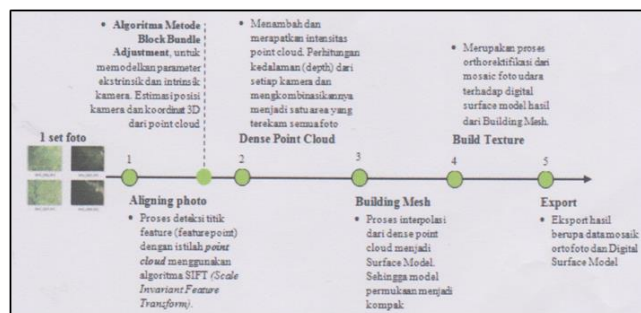
Pembuatan jalur terbang untuk pemotretan udara dengan UAV, sekarang ini telah menggunakan perangkat lunak yang sekaligus dapat mentransfer ke sistem autopilot yang berada di pesawat. Perangkat lunak *open source* yang sering digunakan ialah Mission Planner. Selain sebagai tool perencanaan jalur terbang juga sebagai perangkat lunak pada GCS (*Ground Control Station*) untuk memantau dan mengendalikan pesawat saat misi pemotretan berjalan. Hasil dari perhitungan parameter jalur terbang pada keterangan di atas, secara otomatis didapatkan oleh Mission Planner dengan nilai tiap parameter yang hampir persis (Gambar 3. no. 2). Gambar 2 menyajikan hasil perencanaan terbang UAV berdasarkan perangkat lunak Mission Planner.



Gambar 3. Peta jalur terbang dan parameter pemotretan udara dengan UAV, menggunakan perangkat lunak *Mission planner*; (1) Peta rencana jalur terbang, (2) statistik dari parameter foto yang dihasilkan pada perencanaan tersebut, (3) konfigurasi yang dapat diubah untuk merancang jalur terbang yang efektif

Pemrosesan Foto Udara Format Kecil Menjadi Mosaik Ortofoto dan DSM

Pengolahan foto udara format kecil dari data UAV menggunakan fotogrametri digital. Perangkat lunak yang digunakan adalah *Agisoft Photoscan*, perangkat lunak ini menggunakan metode *Structure from Motion (SfM)* salah satu cabang pada computer vision untuk merekonstruksi blok foto udara menjadi mosaik foto dan *Digital Surface Model (DSM)*. Secara garis besar alur proses yang digunakan pada *Agisoft Photoscan* seperti diagram alir pada Gambar 4. Diagram alur proses pengolahan foto udara dan algoritma dibalikannya dengan perangkat lunak *Agisoft Photoscan*.



Gambar 4. Diagram alur proses pengolahan foto udara dan algoritma di balikinya dengan perangkat lunak *Agisoft photoscan*

Pemrosesan ini membutuhkan input koordinat x, y, dan z di lapangan, yang diambil dengan GPS Geodetic. Koordinat sebagai input proses tersebut dinamakan *Ground Control Point* (GCP), untuk mengoreksi koordinat model dari point cloud menjadi koordinat sebenarnya di lapangan.

Desain dan Pengukuran Sebaran *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Check Point* (ICP)

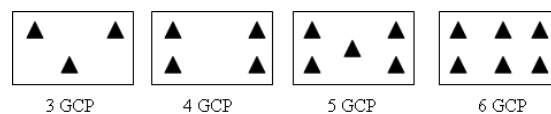
Desain sebaran maupun jumlah peletakkan GCP sebaiknya mewakili konfigurasi topografi maupun relief. GCP digunakan untuk proses *block bundle adjustment* pada perangkat lunak fotogrametri, sehingga koordinat *point cloud* yang awalnya berupa koordinat model menjadi koordinat sesungguhnya di lapangan. ICP merupakan koordinat lapangan yang nantinya digunakan untuk uji akurasi ketelitian dari ortofoto dan *Digital Surface Model* (DSM) yang dihasilkan dari pemrosesan foto udara tersebut.

Pengukuran GCP dan ICP di lapangan menggunakan GNSS geodetik, dengan akurasi pengukuran tiap titik mampu mencapai satuan sentimeter atau di bawah dari ukuran piksel dari foto udara. Jumlah GCP yang digunakan untuk pemrosesan minimal 3 titik, sedangkan untuk ICP akan lebih baik melebihi jumlah dari GCP.

Idealnya dalam pemotretan udara, peletakkan premark dan pengukuran GCP dilakukan sebelum pemotretan, namun pada penelitian ini dilakukan *post marking*, pengukuran GCP dan ICP dilakukan setelah pemotretan udara. Kenampakan objek yang dipilih sebagai GCP dan ICP sebaiknya jelas dan kontras, tidak bergerak, dan objek tersebut bersifat tetap atau tidak banyak berubah atau bergeser dalam waktu yang lama. Contoh objek yang baik untuk digunakan titik

GCP maupun ICP seperti pojok persimpangan jalan, pojok bangunan (bukan atap), marka jalan, persimpangan pematang sawah, dan objek sejenis lainnya.

Desain jumlah dan sebaran GCP pada penelitian ini dilakukan sebanyak 4 konfigurasi, untuk membandingkan hasil akurasi geometrik dari perubahan jumlah dan sebaran GCP. Adapun rencana desain tersebut seperti Gambar 5.



Gambar 5. Desain konfigurasi GCP

Uji Ketelitian Geometri (Horizontal Dan Vertikal) Foto Udara Format Kecil Dari Teknologi UAV

Metode yang digunakan untuk menguji ketelitian data tersebut berdasarkan PERKA BIG no. 15 tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. Uji ketelitian geometri diterapkan pada mosaik ortofoto untuk mengetahui akurasi dan kesalahan posisi horizontal, sedangkan akurasi vertikal atau kesalahan ketinggian diujikan pada *Digital Terrain Model* (DTM). Adapun cara menghitung nilai ketelitian suatu peta atau citra berdasarkan Tabel 3, ketentuan nilai ketelitian peta RBI berdasarkan kelas.

Tabel 3. Ketentuan nilai ketelitian Peta RBI berdasarkan kelas

No	Ketelitian	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
1	Horizontal	0,2 mm x bilangan skala	0,3 mm x bilangan skala	0,5 mm x bilangan skala
2	Vertikal	0,5 x interval kontur	1,5 x interval kontur	2,5 x interval kontur

DTM terhadap ICP yang dianggap sebagai koordinat sebenarnya diambil di

lapangan menggunakan GNSS Geodetik. Mengacu pada standard dari US NMAS (*United States National Map Accuracy Standard*) bahwa ketelitian peta dasar di Indonesia CE90 untuk horizontal dan LE90 untuk vertikal.

Uji Kualitas Semantik Foto Udara

Uji kualitas semantik foto udara pada penelitian ini diasumsikan merupakan kemudahan interpretabilitas obyek terkecil yang dapat ditemui pada mosaik orthofoto. Kemudahan interpretasi obyek dapat terwakili dari tingkat kedetilan obyek yang dapat terekam oleh citra atau foto udara. Tingkat kedetilan obyek pada foto udara tersebut dikelaskan dalam level 0-9 berdasarkan NIIRS (*National Imagery Interpretability Rating*

Scale). Nilai NIIRS ini didapatkan dengan melakukan pengamatan terhadap obyek terkecil yang dapat dikenali dari foto udara oleh beberapa orang sebagai interpreter, kemudian dicocokkan dengan tabel IRARS (*Imagery Resolution Assessment and Reporting Standards*) mengenai skala kedetilan obyek. Hasil dari nilai skala interpretabilitas tadi dirata-ratakan untuk semua interpreter, sehingga mendapatkan nilai NIIRS akhir, (Kim dkk., 2008). Semakin besar nilai NIIRS, maka semakin detil dan semakin kecil obyek yang dapat dikenali, sehingga kualitas semantik foto udara dapat dikatakan semakin bagus. Tingkat kedetilan obyek berdasarkan IRARS untuk menentukan nilai NIIRS (Tabel 4).

Tabel 4. IRARS mengenai interpretabilitas citra

Level	Obyek yang dapat dikenali
0	Interpretabilitas citra terhalang oleh ketidakjelasan, degradasi, atau resolusi citra sangat rendah
1	<ul style="list-style-type: none"> • Membedakan kelas penggunaan lahan secara garis besar (misalnya kota, pertanian, hutan, badan air, tanah gundul) • Mendeteksi fasilitas Bandar udara ukuran sedang • Membedakan landas pacu dan jalan taksi di bandara udara yang besar • Mengenali pola aliran yang bentangan daerahnya luas (dendritik, trellis, radial)
2	<ul style="list-style-type: none"> • Mengenali pusat sawah irigasi yang luas (> 160 are) pada musim perkembangan tanaman • Mendeteksi jalur pemecah es • Mendeteksi air alur kapal besar (>300 inci)
3	<ul style="list-style-type: none"> • Mendeteksi alur bajakan tanah bagi daerah luas (>160 are) • Mendeteksi rumah satu per satu pada lingkungan permukiman • Mendeteksi kereta api atau rangkaian kendaraan pada jalan kereta api (bukan kendaraan individual) • Mengenali jalur angkutan perairan di daratan yang dapat dilayari oleh kapal layar (bark) • Membedakan tegakan hutan alami dan perkebunan
4	<ul style="list-style-type: none"> • Mengenali rumah petani dan membedakan atas bangunan hunian, lumbung, dan gudang • Menghitung jalur rel kereta api terbuka di halaman stasiun maupun di sepanjang jalan • Mendeteksi lapangan bola basket, lapangan tenis, lapangan bola voli di daerah perkotaan • Mengenali jalur individual, pasangan rel kereta api, menara pengatur lalu lintas, dan percabangan pada halaman stasiun • Mendeteksi jalur lintasan jup pada lahan rumput
5	<ul style="list-style-type: none"> • Mengenali kebun pohon natal • Mengenali kendaraan pada rel kereta api menurut jenisnya (gondola, flat, box) dan lokomotif menurut jenisnya (uap, diesel) • Mendeteksi teluk untuk masuk ke bangunan penyimpanan kendaraan (open bay doors) • Mengenali tenda (untuk 2 orang atau lebih) pada daerah perkemahan • Membedakan tegakan pohon berdaun jarum dan berdaun lebar pada musim gugur daun • Mendeteksi binatang berukuran besar (gajah, badak, jerapah) di padang rumput
6	<ul style="list-style-type: none"> • Mendeteksi pohon narkotika sebagai tanaman sela berdasar tekstur • Mendeteksi antar baris tanaman (jagung, kedelai, dsb) dan butir padi-padian (gandum, oat, dsb) • Mengenali mobil sebagai sedan atau stasiun wagon • Mengenali tiang telepon/listrik secara individual di daerah permukiman • Mendeteksi jalan setapak pada daerah tanpa tanaman
7	<ul style="list-style-type: none"> • Mengenali kapas yang telah matang pada ladang kapas • Mengenali sambungan rel kereta api secara individual • Mendeteksi undak-undakan (step) secara individual pada tangga jalan • Mendeteksi tonggak pohon dan bebatuan pada tebingan hutan atau lapangan rumput

8	<ul style="list-style-type: none"> • Menghitung anak babi secara individual • Mengenali rangkaian benchmark USGS pada permukaan lahan diperkeras • Mengenali detil grill dan atau plat nomer kendaraan umum/jenis truk • Mengenali bibit pohon pinus secara individual • Mengenali pohon palma air secara individual • Mengenali rekaan air/angin pada kendaraan
9	<ul style="list-style-type: none"> • Mengenali kepala butir padi-padian secara individual (gandum, oat, barley, dsb) • Mengenali duri secara individual pada pagar kawat berduri • Mendeteksi pasak pada sambungan rel kereta api secara individual • Mengenali duri pohon pinus secara individual • Mengenali daun telinga (ear leaf) pada binatang permainan yang besar (kijang, rusa besar, dsb).

Sumber: Sutanto, 2013

HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi data penginderaan jauh menggunakan teknologi UAV menghasilkan data foto udara format kecil (fufk), yang nantinya diolah menjadi mosaik orthofoto dan DSM maupun DTM. Penggunaan fufk dari teknologi UAV tersebut dikaji ketelitian secara geometrik dan kualitasnya untuk peta dasar kebencanaan dalam hal ini tsunami. Hasil pengolahan terhadap fufk nantinya dapat digunakan untuk memodelkan *run-up* tsunami, peta wilayah aman, dan lain-lain.

Perencanaan dan Pemotretan Udara Menggunakan Teknologi UAV di Daerah Penelitian

Foto udara format kecil merupakan data awal yang digunakan sebagai data spasial dasar untuk pemetaan. Sebelum dilakukannya pemotretan udara menggunakan UAV, maka perlu tahapan perencanaan akuisisi foto udara. Rencana pemotretan dilakukan dengan menggambarkan jalur terbang sedetil mungkin menggunakan perangkat lunak *Mission planner*.

Waktu pemotretan dilakukan antara pukul 08.00-10.00 WIB dengan satu kali penerbangan selama 8-10 menit pada kondisi ideal. Ketinggian terbang 300 m di atas tanah yang diharapkan dapat menghasilkan ukuran piksel sebesar ± 8 cm, ukuran piksel tersebut secara teori mampu digunakan untuk pembuatan peta skala 1:5.000. Pengaturan *endlap* dan

sidelap direncanakan pesawat kecil yang mudah bergeser pengaman karena UAV menggunakan pesawat kecil yang mudah bergeser dan terganggu oleh angin.

Jumlah jalur terbang sejumlah 3 jalur dengan panjang total 5,16 km.

Pemotretan udara menggunakan UAV dilakukan pada tanggal 19 Mei 2017. Wilayah pemotretan yang berada di pesisir dengan kecenderungan kecepatan angin yang tinggi mempengaruhi ketahanan baterai pesawat lebih cepat habis. Hal tersebut dikarenakan putaran motor pesawat yang semakin cepat untuk dapat menembus hambatan angin. Pemantauan kondisi baterai dan perilaku terbang pesawat dapat dilihat melalui perangkat lunak *Mission planner* pada *Ground Control Station (GCS)*. Oleh karena itu, perencanaan pemotretan yang awalnya hanya satu kali terbang menjadi 3 kali terbang.

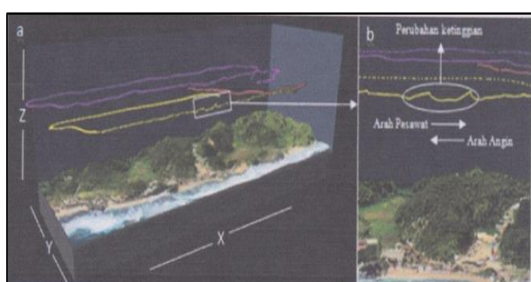
Kecepatan angin yang besar juga berpengaruh terhadap kemampuan pesawat UAV saat terbang mengikuti jalur terbang yang telah dirancang. Apabila angin dari samping terlalu besar, terkadang pesawat dapat keluar dari jalur terbang (*off-track*). Arah dan kecepatan angin dari depan (*headwind*) yang terlalu besar dapat memperlambat laju pesawat di udara, sebaliknya jika angin dari belakang tersebut akan mempengaruhi besaran tampalan foto yang dihasilkan, karena pada penelitian ini trigger kamera diaktifkan menggunakan interval waktu. Rekaman penerbangan saat akuisisi, terdapat perbedaan kecepatan pesawat

antar jalur terbang karena *headwind* dan *tailwind* (Gambar 6).



Gambar 6. Rekaman penerbangan pesawat saat akuisi, (a) V pesawat bertambah karena *tailwind*, (b) V pesawat menurun karena *headwind*, (c) posisi pesawat yang sedikit off-track karena terimbas angin (*distorsi yaw*)

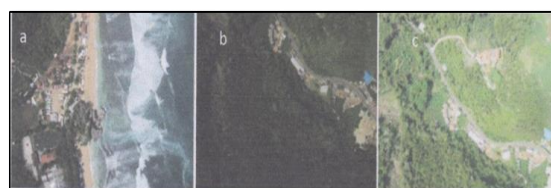
Perbedaan ketinggian pesawat juga teridentifikasi berdasarkan rekaman penerbangan karena *headwind* yang terlalu besar. Apabila arah hadap pesawat *headwind*, maka hidung pesawat akan cenderung terangkat naik atau disebut *distorsi pitch*, sehingga bila kekuatan angin lebih besar dibandingkan daya dorong pesawat, ketinggian akan berubah naik dari jalur seharusnya. Model 3D rekaman penerbangan pesawat saat akuisisi yang menggambarkan adanya perubahan ketinggian (Gambar 7).



Gambar 7. (a) Model perspektif 3D perekaman pesawat saat akuisisi data pada wilayah penelitian, (b) V terbang berubah

Tahapan akuisisi data menghasilkan total jumlah foto sebanyak 199 foto. Tidak semua foto tersebut dapat

digunakan untuk pemrosesan, karena terdapat redundansi akibat terlalu besar *distorsi pitch*, *roll* ataupun *yaw*, sehingga perlu proses pemilihan foto. Penggunaan kamera saku yang murah juga mengakibatkan *exposure* tiap foto berbeda, ada yang *under* dan *over* untuk tingkat kecerahannya. Hal tersebut, dikarenakan waktu pemotretan pada tengah hari dengan sinar matahari optimal. Obyek pasir, zona pecah gelombang yang terlalu cerah berpadu pada satu frame foto dengan obyek vegetasi rapat yang gelap, menyebabkan kamera dengan *light metering* terbatas tersebut kurang cepat mengoreksi, sehingga foto menjadi gelap. Contoh hasil foto udara lepas sebelum diolah lebih lanjut (Gambar 8).



Gambar 8. Contoh hasil foto udara lepas (*single photo*) hasil pemotretan menggunakan teknologi UAV di wilayah penelitian, (a) *normal exposure*, (b) *under exposure*, (c) *over exposure*

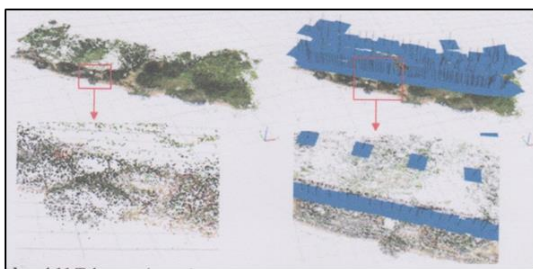
Pengolahan Foto Udara Menjadi Data DSM, Mosaik Orthofoto, dan DTM

Pengolahan foto udara hasil akuisisi pada tahapan pertama adalah pemilihan foto dan penyeragaman kontras maupun *brightness* dari tiap foto. Apabila penyeragaman kontras (*enhancement*) tidak dilakukan, maka proses deteksi *point cloud* pada perangkat lunak untuk mendeteksi urutan dan posisi foto akan mengalami kegagalan. Akibatnya foto dengan perbedaan kontras dan tingkat kecerahan yang tinggi daripada foto lainnya tersebut tidak dapat teridentifikasi dan akan sulit dilakukan mosaik orthofoto maupun diolah menjadi DSM. Jumlah total foto dari 3 kali pemotretan yang

digunakan untuk pemrosesan sejumlah 197 foto.

Kumpulan foto hasil *enhancement* tersebut diolah menggunakan perangkat lunak *Agisoft photoscan*. Faktor orientasi dalam hasil kalibrasi kamera dimasukkan untuk meminimalkan *error* akibat distorsi lensa kamera. Pemrosesan dilakukan sebanyak 4 kali dengan konfigurasi 3, 4, 5, dan 6 GCP. Hasil uji akurasi geomterik terbaik dari 4 konfigurasi tersebut yang akan dipakai sebagai data spasial dasar.

Pengolahan pada perangkat lunak *Agisoft* dimulai dengan *photo aligning*. *Photo aligning* ini terdiri dari proses deteksi obyek yang sama antar foto menjadi *point cloud* menggunakan *SIFT* (*Scale Invariant Feature Transform*), *bundle block adjustment* (*bba*) untuk triangulasi udara *point cloud* agar berkoordinat *x, y, z* berdasarkan parameter dalam dan luar kamera dengan GCP. Hasilnya adalah *point cloud* yang awalnya mempunyai koordinat piksel (*model*) menjadi koordinat sesungguhnya di lapangan. Rekonstruksi urutan foto dan posisi kamera pada saat pemotretan juga dilakukan pada tahapan ini. Kumpulan *point cloud* yang berhasil terdeteksi dan posisi kamera hasil dari tahap *aligning photo* (Gambar 9).



Gambar 9. Tahap *aligning photo* di *Agisoft photoscan*, (a) Kumpulan *point cloud*, (b) Posisi kamera saat *exposure*, (c) Perbedaan tampilan foto antar jalur terbang

Tahapan selanjutnya adalah densifikasi atau perapatan *point cloud*. Proses ini pada saranya mendeteksi *point*

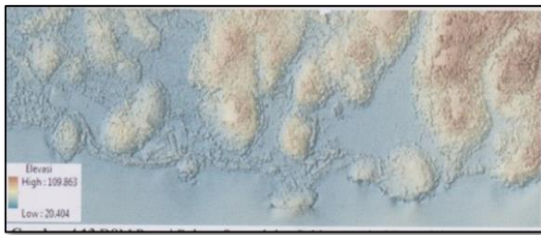
cloud baru dengan menghitung serta memposisikan koordinatnya berdasarkan algoritma untuk menentukan komputasi kedalaman (*depth map computation*) antar pasangan foto (*pair wise*) dan menggabungkannya menjadi satu are blok. Hasilnya *point cloud* semakin rapat dan semakin banyak, pada pemrosesan menggunakan 6 GCP, densifikasi *point cloud* menjadi 14,1 titik/m². Gambar mengilustrasikan *point cloud* sebelum dan sesudah densifikasi (Gambar 10).



Gambar 10. Tahapan densifikasi *point cloud* dari (a) *point cloud* sebelum densifikasi, (b) *Point cloud* setelah densifikasi

Pembuatan *Digital Surface Model* (DSM) dan *Digital Terrain Model* (DTM)

Fungsi awal dari DSM yaitu pembuatan mosaik ortofoto (Ruzgiene, dkk 2014). DSM digunakan untuk mengeliminir kesalahan relief dari foto udara sehingga hasil foto udara mempunyai proyeksi orthogonal dan memiliki skala yang sama di semua area foto. Proses pembuatan DSM berdasarkan perangkat lunak *Agisoft photoscan*, pada dasarnya telah dilakukan pada tahapan densifikasi *point cloud*. Perapatan *point cloud* tersebut kemudian diteruskan dengan proses interpolasi menjadi DSM berubah bentuk ke data raster. Data DSM dari pengolahan foto udara format kecil hasil akuisisi UAV disajikan pada Gambar 11.

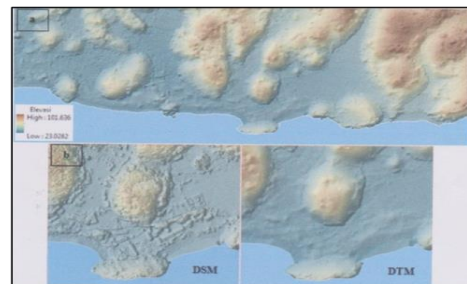


Gambar 11. DSM Pantai Pulang Syawal dan sekitarnya dari pengolahan fufk UAV

Digital Terrain Model (DTM) merupakan produk data turunan dari DSM, dimana DTM merupakan model ketinggian permukaan bumi tanpa adanya obyek vegetasi dan *manmade feature* seperti bangunan. Tahapan menurunkan data DTM dari data DSM pada dasarnya diawali dari penentuan titik ketinggian yang berada di permukaan tanah, seleksi, dan menghilangkan obyek ketinggian yang bukan merupakan ketinggian permukaan tanah, area yang telah dihilangkan tersebut kemudian diinterpolasi dengan data ketinggian di permukaan tanah di sekitarnya (Perkodik, 2015; Samartono dkk, 2016)

Kesulitan dalam ekstraksi DTM dari data DSM terjadi apabila titik di atas permukaan tanah sulit teridentifikasi. Daerah penelitian berupa bentukan geomorfologi karst. Bukit karst (dome) dengan tutupan vegetasi rapat tidak menghasilkan data DTM yang optimal, hal ini sesuai dengan yang disebutkan oleh Samartono dkk, 2016 bahwa obyek pegunungan dengan vegetasi hutan yang rapat akan sangat sulit diekstraksi menjadi DTM. Berkaitan dengan hal tersebut, maka metode semi otomatis dilakukan menggunakan perangkat lunak SAGA GIS. Area yang masih terdapat obyek *manmade feature* ataupun tegakan vegetasi dieliminasi secara manual. Hasilnya cukup baik sebagian besar obyek yang bukan permukaan tanah dapat tereliminasi. Hasil DTM dari pemrosesan menggunakan perangkat lunak SAGA

GIS dan disempurnakan dengan editing manual (Gambar 12).



Gambar 12. (a) DTM dari pengolahan DSM menggunakan SAGA GIS dan dilakukan *editing manual*, (b) Contoh potongan perbandingan DSM dan DTM

Pembuatan Mosaik Orthofoto

Tahap terakhir dari pemrosesan foto udara ini adalah pembuatan orthofoto tiap foto udara yang diolah dan menyatukannya menjadi mosaik orthofoto. Proses tersebut menggunakan input DSM (dalam bentuk TIN) dan foto udara. TIN digunakan untuk mengkoreksi relief *displacement* obyek dari foto udara, sehingga foto menjadi berproyeksi orthogonal dan posisi koordinat lebih akurat. Apabila semua foto dalam blok tersebut sudah terorthorektifikasi, maka proses selanjutnya adalah mosaik dengan proses *blending* antar foto, sehingga sambungan antar foto tidak terlihat dan kontras maupun *brightness* seragam untuk semua area. Hasil mosaik orthofoto disajikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Mosaik orthofoto wilayah penelitian hasil pemrosesan fufk UAV

Mosaik orthofot yang dihasilkan mempunyai ukuran piksel (GSD) $\pm 6,6$ cm, selaras dengan apa yang disebutkan Rokhmana (2015), bahwa biasanya GSD

yang dihasilkan dari fufk teknologi UAV akan berada direntang 5-20 cm/piksel dengan ketinggian pemotretan antara 160-400 m di atas permukaan tanah. Ukuran GSD tersebut dapat dikategorikan detil apabila dibandingkan dengan data penginderaan jauh lainnya seperti citra satelit yang tersedia saat ini. Mosaik orthofoto digunakan sebagai data spasial dasar untuk keperluan pemetaan kebencanaan.

Uji Kualitas Semantik Mosaik Orthofoto

NIIRS (*National Imagery Interpretability Rating Scale*) digunakan untuk memberikan nilai kualitas citra dari kedetilan obyek yang dapat diinterpretasi. Sejumlah 10 potongan citra dari mosaik orthofoto telah dibagikan kepada 7 interpreter. Setiap interpreter diminta untuk mengenali obyek terkecil yang ada pada masing-masing area tersebut, kemudian diminta untuk mencocokkan dengan tabel IRARS. Hasil rerata dari nilai NIIRS tadi oleh semua interpreter menunjukkan nilai kualitas foto udara berdasarkan daya interpetabilitas obyeknya.

Hasil yang didapatkan dari interpreter memberikan nilai NIIRS untuk mosaik orthofoto sebesar 6,03. Artinya bahwa secara kualitas mosaik orthofoto yang dihasilkan cukup baik dengan interpetabilitas yang bagus. Kedetilan obyek yang dapat dikenali sampai level 6, hal ini tentunya lebih baik daripada citra satelit resolusi tinggi (CSRT). Berdasarkan penelitian dari Kim dkk (2008), bahwa citra Quickbird hanya mampu menghasilkan nilai NIIRS 3,93. Nilai NIIRS masing-masing interpreter pada tiap potongan orthofoto (Tabel 4).

Tabel 4. Nilai level NIIRS berdasarkan interpretasi 7 operator pada fufk

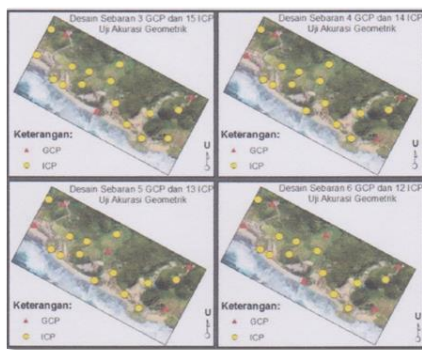
No. are a	Interpreter							Rer ata
	A	B	C	D	E	F	G	
1	6	6	6	6	6	6	6	6
2	6	6	6	5	6	6	5	5,71
3	6	6	6	6	6	6	6	6
4	6	6	6	6	6	5	6	5,86
5	6	6	6	6	6	6	8	6,58
6	6	5	6	5	8	5	6	5,58
7	7	6	6	5	6	6	6	6,29
8	6	6	6	6	6	6	6	6
9	7	6	6	6	6	6	7	6,29
10	6	6	6	6	6	6	6	6
Rata-rata kelas NIIRS berdasarkan tabel IRARS								6,03

1	6	6	6	6	6	6	6	6
2	6	6	6	5	6	6	5	5,71
3	6	6	6	6	6	6	6	6
4	6	6	6	6	6	5	6	5,86
5	6	6	6	6	6	6	8	6,58
6	6	5	6	5	8	5	6	5,58
7	7	6	6	5	6	6	6	6,29
8	6	6	6	6	6	6	6	6
9	7	6	6	6	6	6	7	6,29
10	6	6	6	6	6	6	6	6
Rata-rata kelas NIIRS berdasarkan tabel IRARS								6,03

Dimulai dari penilaian kualitas secara umum dengan metode NIIRS dan dikuatkan dengan beberapa obyek kunci yang dapat dikenali, maka mosaik orthofoto yang dihasilkan dapat dikatakan mempunyai kualitas semantik yang baik. Kualitas semantik tersebut telah sesuai dengan kebutuhan analisis yang dilakukan pada penelitian lanjutan dalam kaitannya dengan data spasial untuk perencanaan evakuasi tsunami detil.

Uji Akurasi Geometrik Horizontal Dan Vertikal

Uji akurasi dilakukan terhadap mosaik orthofoto untuk ketelitian horizontal sedangkan ketelitian vertikal dilakukan terhadap data DSM. Uji geometrik tersebut berdasarkan perbandingan antara koordinat (x, y, z) pada *Independent Check Point* (ICP), hasil pengukuran lapangan menggunakan GNSS Geodetik dengan koordinat (z, y, z) orthofoto maupun DSM. Ketelitian vertikal sebaiknya memang dilakukan pada data DTM bukan DSM, namun pemilihan lokasi titik yang digunakan sebagai ICP merupakan obyek permukaan tanah, sehingga penggunaan data DSM dianggap mewakili data DTM pada titik ICP tersebut. Perhitungan akurasi juga dilakukan pada 4 variasi desain sebaran dan jumlah GCP. Desain posisi dan jumlah sebara GCP maupun ICP dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Empat konfigurasi desain jumlah dan sebaran GCP/ICP

Hal yang didapatkan menunjukkan bahwa mosaik orthofoto memiliki ketelitian horizontal yang dapat digunakan sebagai data spasial dasar untuk pemetaan pada skala 1:2.500, berdasarkan PERKA BIG No. 14 tahun 2014 mengenai pedoman teknis ketelitian peta dasar. Pengolahan foto udara menjadi mosaik orthofoto menggunakan 3 GCP memiliki ketelitian horizontal 0,657 m, ketelitian turun menjadi 0,973 m dengan pengolahan 4 GCP, namun ketelitian mengalami kenaikan akurasi menjadi 0,693 m saat 5 GCP yang digunakan untuk pengolahan orthofoto. Ketelitian horizontal terbaik didapatkan pada penggunaan 6 titik GCP yaitu 0,649 m. Informasi hasil perhitungan ketelitian horizontal dan vertikal pengolahan foto udara (Tabel 5).

Tabel 5. Ketelitian horizontal dan vertikal fufk berdasarkan variasi jumlah GCP

Jumlah GCP	Akurasi horizontal (CE 90)	Skala	Akurasi vertikal (LE 90)	Skala yang sesuai (PERKA BIG no.15 th 2014)
3	0,657	1:2.500 kelas 2	2,019	1:5.000 kelas 3
4	0,973	1:2.500 kelas 3	1,915	1:5.000 kelas 3
5	0,693	1:2.500 kelas 2	2,015	1:5.000 kelas 3
6	0,649	1:2.500 kelas 2	1,494	1:5.000 kelas 2

Sumber: pengolahan data, 2016

Ketelitian vertikal yang dibandingkan antara elevasi model (DSM) dengan pengukuran GNSS di lapangan, menunjukkan trend semakin naik dengan bertambahnya jumlah GCP yang digunakan untuk pengolahan. Penggunaan jumlah 3 dan 5 GCP memberikan ketelitian mirip yaitu 2,019 m dan 2,015 m. ketelitian vertikal naik cukup tinggi menjadi 1,494 m saat menggunakan 6 titik GCP. Ketelitian ataupun akurasi turun saat menggunakan 4 GCP yaitu sebesar 1,915 m. Keempat variasi GCP tersebut menghasilkan data DSM dengan ketelitian vertikal yang tidak dapat menyamai ketelitian horizontal pada skala 1:2.500. Skala yang sesuai dengan ketelitian vertikal menurut PERKA BIG no. 15 tahun 2014 termasuk pada skala 1:5.000.

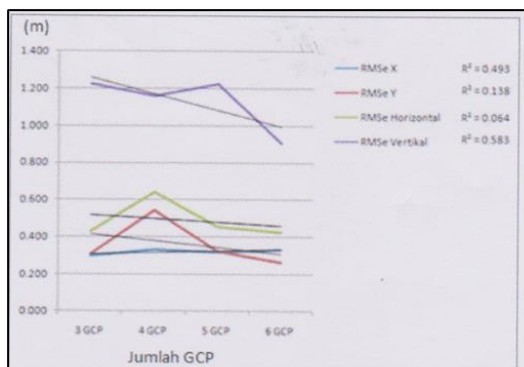
Nilai ketelitian geomterik yang didapatkan mirip dengan penelitian dari Tampubolon (2014) yang menyatakan bahwa ketelitian yang didapatkan bernilai 0,863 m untuk horizontal dan 1,274 m untuk vertikal dari akuisisi menggunakan UAV di wilayah Candi Borobudur, Magelang. Nilai ketelitian tersebut mampu digunakan untuk pemetaan skala 1:2.500 horizontal dan skala 1:5.000 vertikal, yang juga didapatkan dalam penelitian ini.

Hubungan antara penambahan jumlah GCP pada pengolahan foto udara untuk pembuatan mosaik orthfoto dan DSM dianalisis menggunakan statistic korelasi dan regresi. Korelasi antara penambahn jumlah GCP dengan RMS error vertikal yang dihasilkan sebesar -0,764 menunjukkan terdapat hubungan kuat penambahan jumlah GCP terhadap penurunan kesalahan vertikal. Nilai minus berarti terjadi hubungan terbalik, dimana semakin bertambah jumlah GCP maka semakin kecil kesalahan (error) yang dihasilkan. Ketelitian horizontal memiliki nilai korelai rendah yaitu -0,254 terhadap penambahan jumlah GCP (Gambar 15).

Analisis regresi menunjukkan seberapa besar pengaruh variabel penambahan jumlah GCP terhadap penurunan kesalahan vertikal (RMSe Z) dengan nilai R² sebesar 0,583. Nilai tersebut memberikan informasi bahwa penambahan jumlah GCP setidaknya mempengaruhi 58,3% dalam menurunkan nilai kesalahan vertikal, sedangkan sisanya 41,7% dipengaruhi oleh faktor lain. Berbeda dengan nilai R² untuk RMSe horizontal, dimana sangat kecil pengaruh penambahan jumlah GCP dalam menurunkan nilai kesalahan horizontal.

Statistik RMSe		3 GCP	4 GCP	5 GCP	6 GCP
X	RMSe	0.299	0.335	0.321	0.335
	Mean	0.090	0.112	0.103	0.112
	Std Dev	0.092	0.126	0.117	0.097
	Var	0.008	0.016	0.014	0.009
Y	RMSe	0.313	0.547	0.325	0.267
	Mean	0.098	0.299	0.105	0.071
	Std Dev	0.171	0.540	0.138	0.176
	Var	0.029	0.292	0.019	0.031
Horizontal	RMSe	0.433	0.641	0.456	0.428
	Mean	0.188	0.411	0.208	0.183
	Std Dev	0.161	0.555	0.174	0.182
	Var	0.026	0.308	0.030	0.033
Vertikal	RMSe	1.224	1.160	1.221	0.905
	Mean	1.497	1.347	1.492	0.820
	Std Dev	1.359	1.938	1.395	1.152
	Var	1.848	3.755	1.945	1.326

Gambar 15. Statistik RMSe pada tiap variasi jumlah GCP

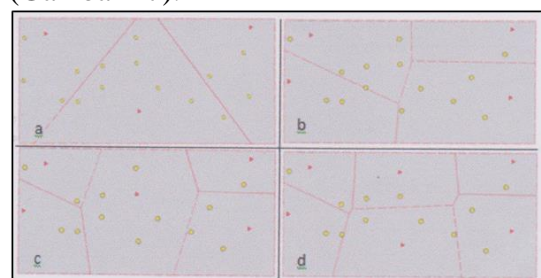


Gambar 16. Grafik hubungan RMSerror dengan penambahan jumlah GCP

Secara keseluruhan penambahan jumlah GCP menunjukkan trend penurunan RMSerror (Gambar 16) meskipun berdasarkan nilai korelasi dan regresi ini kurang menunjukkan hubungan dan pengaruh yang kuat. Hal tersebut dikarenakan pada model hubungan ini data yang digunakan hanya 4 variasi yang

tergolong sedikit untuk analisis statistic. Selain itu, terdapat banyak faktor lain yang mempengaruhi ketelitian dari horizontal maupun vertikal yang tidak dimodelkan secara kuantitatif.

Sebaran dan posisi GCP pada dasarnya juga mempengaruhi hasil akurasi ataupun ketelitian dari mosaik orthofoto maupun DSM, seperti pada variasi penempatan posisi dan sebaran 4 GCP dibandingkan dengan variasi 3, 5, dan 6 titik GCP. Hasil dari 4 GCP memberikan nilai ketelitian horizontal dan vertikal yang cenderung lebih rendah daripada nilai yang dihasilkan oleh variasi 3, 5, dan 6. Hal tersebut dikarenakan tidak terdapatnya GCP di bagian tengah area blok foto udara, sehingga pada area tersebut terlalu jauh dari titik GCP sebagai pengontrol. Semakin jauh titik atau lokasi terhadap GCP, maka akurasi akan semakin menurun, sebaliknya semakin dekat posisi terhadap GCP maka semakin baik akurasinya. Berdasarkan pemodelan *thiessen polygon* dapat diketahui setidaknya gambaran pengaruh sebaran GCP terhadap area yang dikontrol (Gambar 17).



Gambar 17. Area pada blok foto udara yang terkontrol oleh masing-masing GCP dibatasi oleh garis warna merah, (a) 3 GCP, (b) 4 GCP, (c) 5 GCP, (d) 6 GCP

Ketelitian geomterik juga dipengaruhi oleh orientasi luar kamera yang disebabkan oleh arah hadap kamera saat pemotretan yang mengalami distorsi. Macam distorsi arah hadap kamera tersebut antara lain distorsi pitch, roll, dan yaw. Ketiga distorsi tersebut disebabkan oleh arah dan kecepatan angin yang besar.

Hasil ketelitian geometric menginformasikan bahwa secara ketelitian horizontal, mosaik orthofoto yang dihasilkan telah memenuhi syarat untuk pemetaan skala 1:2.500. Apabila aplikasinya digunakan untuk pemetaan kebencanaan maka skala tersebut telah cukup tinggi, mengingat data spasial kebencanaan sampai saat ini masih berada di level skala menengah.

KESIMPULAN

Teknologi UAV dapat menghasilkan data foto udara format kecil (fufk) dengan ketelitian geometrik horizontal 0,649 m yang telah sesuai untuk pemetaan skala 1:2.500 dari data mosaik orthofoto, sedangkan untuk ketelitian vertikal bernilai 1,494 m yang masuk pada skala peta 1:5.000 dari data DSM dan DTM. Kualitas semantik dari mosaik orthofoto yang dihasilkan juga mempunyai daya interpretabilitas yang tinggi pada level 6 skala NIIRS, sehingga mampu digunakan untuk mengenali fitur-fitur khusus dan detail. Ketelitian geometrik dan semantik tersebut telah cukup detail apabila digunakan sebagai input pemodelan dan pemetaan kebencanaan pesisir khususnya tsunami.

Uji ketelitian geometrik dari foto udara yang dihasilkan oleh teknologi UAV masih dapat dikembangkan untuk membandingkan dari sisi wahana, sensor, perangkat lunak pengolahan, teknik pemotretan yang berhubungan dengan perbedaan ketinggian dan juga membandingkan obyek pada karakteristik wilayah yang berbeda termasuk luasan area yang diindera. Secara spasial hasil foto teknologi UAV yang telah diuji akurasi telah layak sebagai data dasar spasial kebencanaan yang bersifat mitigasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, Stuart M and Carol J.F., 2011. *A survey of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) usage for imagery collection in disaster research and management.*
- Badan Informasi Geospasial. 2014. Peraturan Kepala BIG no. 14 tahun 2014 tentang Pedoman teknis ketelitian peta dasar. Badan Informasi Geospasial, Cibinong, Bogor.
- Barreiro, Anxo., Jose M. D., Alejandro J.C.C. 2014. *Integration of UAV photogrammetry and SPH modeling of fluids to study runoff on real terrains.* PLOS ONE: Volume 9 issue 11.
- Bendea H., P. Boccoardo. 2008. Low cost UAV for post-disaster assessment. *IAPRS Proceedings, vol. XXXVII.* ISSN 1682-1750. Beijing.
- Lee, Insu., Jihan Kang. 2013. Applicability analysis of ultra-light UAV for flooding site survey in South Korea. *IAPRS Proceedings, vol. XL-1/W1.* ISPRS Hannover Workshop, Germany.
- Meiarti, Rini. 2017. Teknik interpretasi aktivitas longsor menggunakan data UAV di sub DAS Bompon Magelang Jawa Tengah. *IABI Proseeding, vol. III.* ISSN 1821-321. Jakarta.
- Rokhmana, C.A. 2015. The potential of UAV-based remote sensing for supporting precision agriculture in Indonesia. *Procedia Environmental Sciences 24, 2015,* 245-253. Elsevier.
- Rosaji, F.S.C. 2015. Perencanaan, akuisisi, dan pengolahan foto udara menggunakan teknologi UAV sebagai alternative pemenuhan data spasial. *Prosiding PIT MAPIN XX.* Bogor, ISBN: 978-602-97569-1-3.