

VALIDASI MODEL ELEVASI DIGITAL *ORTHOPHOTO* FOTOGRAMETRI MENGUNAKAN PESAWAT TANPA AWAK UNTUK PEMETAAN JALAN RAYA

(Studi Kasus: Jalan Lintas Selatan Segmen Saptosari – Planjan, Yogyakarta)

¹Angga Tri Prasetyo, ²Aning Haryati

¹Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti
²Dosen Pembimbing Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti

ABSTRACT

The preparation of road planning documents, commonly referred to as Detailed Engineering Design (DED) documents, has been planning based on the actual conditions of a road section, which are represented in a topographic map. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for mapping is an alternative method for topographic surveys.

This research was conducted to assess the accuracy of the mapping products generated by UAVs, both in terms of map accuracy standards, visual appearance of the overhead view, longitudinal profiles of the road centerline, and cross-sections of the road. From the analysis of map accuracy standards, orthophoto maps is an enlargement of a 1:1000-scale published map, class 2, with a CE 90 value of 0.281085 and an LE 90 value of 0.26812.

In this case study, the results indicate that the orthophoto maps, are not allowed for road design plans. The overlay results indicate that the data produced from the orthophoto map processing is non-homogeneous. Additionally, the longitudinal profile along the road centerline shows errors ranging from 0.001 meters to 0.855 meters, and the cross-section does not provide sufficient information on the depth of retaining walls and the dimensions of drainage channels.

Keywords: UAV, photogrammetry, road mapping, DEM

ABSTRAK

Penyusunan dokumen perencanaan penanganan jalan raya atau yang biasa disebut dengan dokumen *Detail Engineering Desain* (DED) jalan, disusun berdasarkan kondisi aktual suatu ruas jalan yang dituangkan ke dalam peta topografi, pemanfaatan metode pemetaan menggunakan pesawat tanpa awak merupakan salah satu alternatif untuk pemetaan topografi.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui ketelitian produk yang dihasilkan dari metode pemetaan menggunakan pesawat tanpa awak, baik dari standar pengujian peta dasar, penampakan visual tampak atas, potongan memanjang arah sumbu (AS) jalan, dan melintang jalan. Dari analisis pengujian peta dasar yang telah dilakukan didapatkan hasil peta *orthophoto* yang dihasilkan memenuhi prasyarat untuk peta dasar skala 1:1000 kelas 2 dengan nilai **CE 90** sebesar 0.281085 dan nilai **LE 90** sebesar 0.26812.

Pada studi kasus ini didapatkan hasil bahwa produk peta *orthophoto* belum bisa dijadikan acuan untuk melaksanakan penyusunan desain rencana jalan raya, pada penampakan visual tampak atas hasil *overlay* antara data model elevasi digital *orthophoto* dan peta topografi

terestris didapatkan hasil pengolahan peta *orthophoto* tidak homogen. Sedangkan jika dilihat dari penampang memanjang sepanjang AS jalan mempunyai rentang kesalahan dari 0.001 meter hingga 0.855 meter, dan potongan melintangnya belum bisa memberikan informasi kedalaman talud dan dimensi saluran drainase.

Kata kunci: UAV, fotogrametri, pemetaan jalan, DEM

PENDAHULUAN

Pekerjaan penyusunan dokumen DED tidak lepas dari penyediaan data kondisi aktual dari ruas jalan yang akan ditangani. Langkah umum yang ditempuh adalah dilakukannya pemetaan dari ruas jalan yang akan ditangani. Terdapat beragam metode yang tersedia dalam melakukan pemetaan ruas jalan, di antaranya dapat dilakukan secara manual dengan pendataan lebar aktual jalan kemudian dituangkan ke dalam peta *strip map* atau dengan cara pemetaan topografi secara terestris menggunakan *Total Station* (TS).

Hadirnya pemetaan topografi menggunakan metode fotogrametri tanpa awak, mempunyai potensial yang cukup besar sebagai salah satu alternatif untuk melakukan pemetaan ruas jalan. Metode ini sudah cukup umum digunakan dalam rangka pemetaan di berbagai bidang lainnya, beberapa di antaranya adalah pemetaan area tambang terbuka, pembuatan peta rupa bumi Indonesia (RBI) dan penyediaan peta dasar pertanahan yang dilakukan oleh Badan Pertanahan Nasional (BPN). Terlebih dengan disahkannya peraturan Badan Informasi Geospasial (BIG) nomor 1 tahun 2020 tentang penggunaan sensor *non-metric* dalam rangka pembuatan peta dasar, memperkuat potensial dari metode ini untuk digunakan dalam rangka memetakan kondisi aktual dari suatu ruas jalan.

Penelitian ini dimaksudkan untuk memvalidasi produk hasil survei *aerial* fotogrametri menggunakan pesawat tanpa awak untuk pemetaan jalan raya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Jalan Lintas Selatan (JLS) Segmen Legundi – Planjan, Gunung Kidul, Yogyakarta dengan panjang trase yang dianalisis sepanjang 4.1 km dengan koordinat pangkal -8.057702 LS, 110.537754 BT dan koordinat ujung - 8.086576 LS, 110.555315 BT.

Dalam penyusunan tugas akhir ini dilakukan 2 (dua) metode. Adapun metode penelitian yang dilakukan terdiri dari metode pengumpulan data sekunder dan metode analisis. Metode pengumpulan data sekunder merupakan suatu pengumpulan data yang diperoleh secara tidak langsung dari subjek atau objek penelitian. Dalam tugas akhir ini seluruh data penelitian dimohonkan dari Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral (DPUPESDM) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Berikut data yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data penelitian

Jenis Data	Format Data	Tahun
Koordinat titik BM JJLS	Text file (.txt)	2019
Data topografi JJLS segmen Saptosari – Planjan	RAW Data (.txt) dan CAD penggambaran (.dwg)	2019
Foto udara JJLS segmen Saptosari - Planjan	RAW Data (.JPEG)	2019

Metode analisis yang digunakan pada proses analisis data adalah analisis spasial dan analisis efisiensi. Analisis spasial dilakukan dengan melakukan dengan menyeragamkan sistem referensi dari data topografi dan data foto udara, acuan yang digunakan dalam penyeragaman sistem referensi adalah koordinat titik BM JJLS. Setelah penyeragaman sistem referensi dari kedua data, kemudian dilakukan analisis uji ketelitian peta orthophoto dengan menggunakan ICP dan mengacu pada standar pengujian peta pada Perka BIG No. 15 tahun 2014.

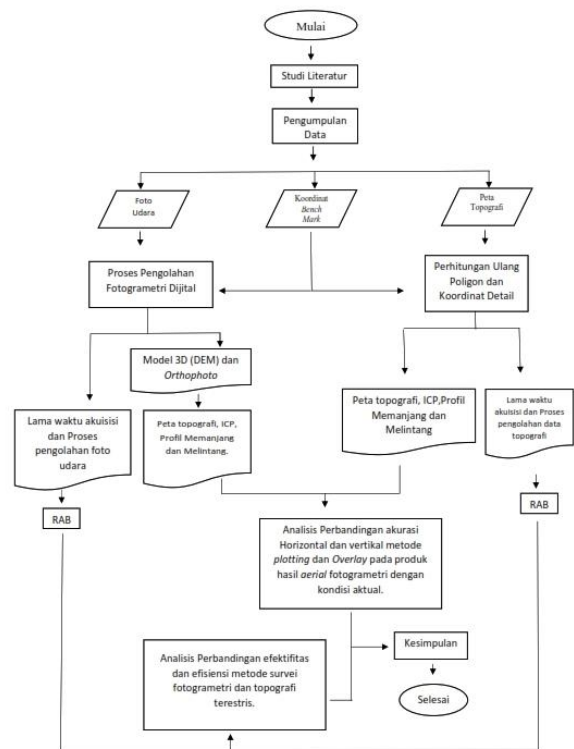
Setelah dilakukan uji peta, tahapan selanjutnya dalam analisis spasial pada penelitian ini adalah melakukan *overlay* peta dari data topografi dan peta orthophoto. *Overlay* difokuskan untuk memberikan gambaran kesalahan spasial dari peta orthophoto jika dibandingkan dengan kondisi aktual di lokasi studi dengan representasi data topografi. Gambaran kesalahan spasial digambarkan ke dalam gambar tampak atas atau *plan view*, penampang memanjang dan melintang sepanjang arah sumbu (AS) jalan.

Analisis efisiensi pada penelitian kali ini, difokuskan untuk analisis komparasi efisiensi pelaksanaan pemetaan

menggunakan pesawat tanpa awak dibandingkan dengan pemetaan topografi menggunakan total station. Yang menjadi batasan dalam melakukan analisis efisiensi pada penelitian ini adalah, cakupan luasan dan panjang jalan yang sama. Sedangkan komponen yang menjadi penilaian adalah lama waktu dan pembiayaan pelaksanaan pekerjaan.

KERANGKA PEMIKIRAN

Kerangka pemikiran yang dilaksanakan dalam kegiatan penelitian ini dapat dilihat dari diagram dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menyajikan hasil dari penelitian yang telah dilakukan beserta

dengan pembahasannya. Hasil dan pembahasan meliputi aspek-aspek, yaitu:

1. Evaluasi Ketelitian Titik Benchmark (BM) dan Poligon Pengukuran Topografi

Hasil pengolahan data GNSS untuk titik BM menunjukkan bahwa ketelitian horizontal dan vertikal masing-masing adalah 0.03 meter, sesuai dengan syarat peta dasar skala 1:1000 berdasarkan SNI 8202-2015 dan Perka BIG no 1 tahun 2020. Titik BM secara lebih lanjut dapat digunakan sebagai GCP untuk pengolahan foto udara karena ketelitian yang dihasilkan lebih kecil dari syarat yang ditentukan.

Namun, penggunaan titik BM sebagai referensi tidak cukup untuk pemetaan detail di seluruh lokasi studi. Oleh karena itu, dilakukan perapatan titik referensi dengan metode poligon, berdasarkan data topografi yang telah dihimpun, sepanjang area studi dipetakan menggunakan 27 titik BM, yang terbagi kedalam empat segmen jaring poligon yang saling terhubung. berdasar pengukuran sudut dan jarak, koordinat titik BM topografi dilakukan transformasi koordinat dengan acuan berdasarkan titik BM GNSS.

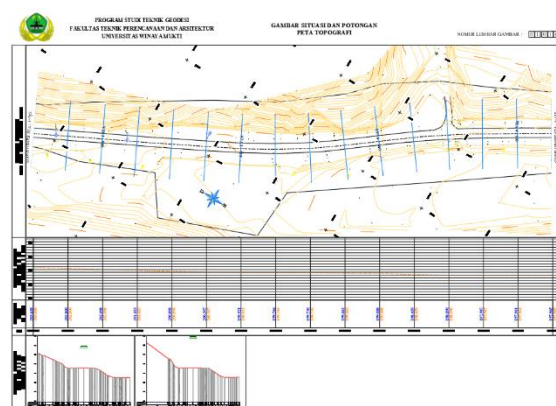
Evaluasi menunjukkan bahwa keempat segmen poligon memenuhi syarat sebagai titik referensi baik dari aspek Kerangka Kontrol Horizontal maupun Kerangka Kontrol Vertikal, meskipun pengukuran tinggi menggunakan metode trigonometris total station. Semua titik detail yang diukur dapat dihitung transformasi koordinatnya mengacu pada titik poligon perapatan.

2. Peta Topografi Lokasi Penelitian

Hasil perhitungan ulang nilai koordinat titik detail menunjukkan bahwa lokasi studi sepanjang $\pm 4,1$ km memiliki variasi ketinggian signifikan, dengan titik terendah 191.398 meter dan tertinggi 288.018 meter. Peta topografi skala 1:1000 menggambarkan kondisi keruangan dan relief tanah, mencakup gambar plan view, profil memanjang, dan potongan melintang jalan.

Titik detail yang diukur hanya mencakup tepi perkerasan jalan, sementara titik as jalan tidak diukur, yang dapat mempengaruhi analisis. Pengukuran titik as penting karena desain perkerasan jalan membutuhkan slope untuk transportasi dan hidrologi.

Sebagai contoh, untuk desain perkerasan dengan slope -2% dan lebar 6 meter, beda tinggi antara as jalan dan tepi perkerasan adalah 8 cm. Untuk jalan nasional dengan slope -3% dan lebar 8 meter, beda tinggi sekitar 12 cm. Beberapa titik detail yang diukur juga diasumsikan sebagai sampel titik uji (ICP), menyesuaikan objek yang dapat dilakukan identifikasi dari peta orthophoto.



Gambar 2. Peta topografi.

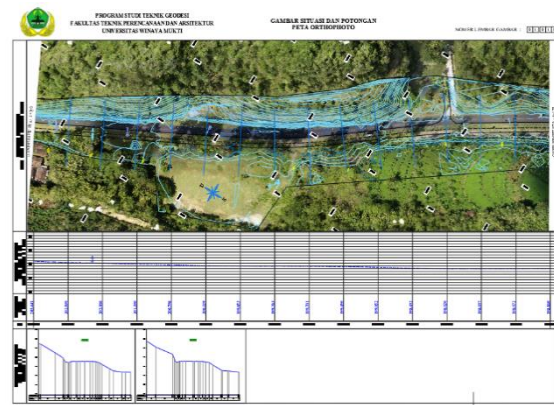
3. Peta orthophoto dan model elevasi digital UAV lokasi studi

Peta orthophoto dihasilkan dari foto udara yang telah diolah dengan software fotogrametri dan dikonversi ke sistem koordinat WGS 84 / UTM Zone 49S, menyelaraskan koordinat dengan titik BM sebagai kontrol utama. Data orthophoto memiliki Ground Spatial Distance (GSD) 2,21 cm/pixel yang memenuhi standar skala 1:1000, secara lengkap hasil pengolahan terlampir dalam **Table 2**.

Tabel 2. Spesifikasi Produk Orthomosaik dan Model Elevasi Digital

Jumlah Foto	1046 foto
Jumlah titik GCP	10 titik
Sistem koordinat	WGS 84 / UTM zone 49S
Band Colors	3 band (RGB)
Tinggi terbang	89 meter
GSD	2.19 cm/pix
Luasan Terpetakan	0.678 km ² / 67.8 ha
Resolusi DEM	2.21 cm/pix
Point density DEM	0.205 points/ cm ²

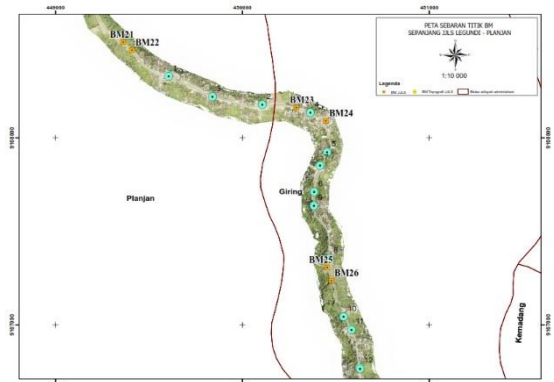
Penggunaan titik – titik BM sebagai GCP dapat memberikan korelasi data antara data peta orthophoto dan peta topografi, dari hasil pengolahan didapatkan ketelitian GCP model pada pengolahan foto udara dibawah 0.03 meter pada kesalahan posisi X,Y,Z dan dibawah 1 pix untuk kesalahan pixelnya. Hal ini menjadikannya terreferensi spasial yang akurat dalam konteks resolusi dan posisi. Namun, pada area tertutup vegetasi atau kanopi dapat mempengaruhi kualitas DEM, dan data DEM ini sulit diolah dalam software CAD, sehingga ekstraksi garis kontur menjadi pilihan untuk mendapatkan informasi topografi yang dapat diimpor ke CAD. Namun tahapan ini mempunyai konsekuensi mengurangi informasi keruangannya.



Gambar 3. Peta Orthophoto.

4. Evaluasi *orthophoto* dan model elevasi digital UAV berdasar titik uji

Pengujian ketelitian hasil pemetaan orthophoto dan model elevasi digital (DEM) menggunakan 14 titik uji (ICP) menunjukkan kesalahan rata-rata atau Root Mean Square Error (RMSE) dalam komponen horizontal dan vertical. Berikut adalah sebaran titik uji.



Gambar 4. Peta sebaran titik uji.

Berdasarkan sebaran titik ICP tersebut diperoleh nilai koordinat model dan nilai koordinat sebenarnya hasil pengukuran di lapangan. Secara lebih lanjut dilakukan perhitungan ketelitian horizontal dan vertikalnya, yang kemudian dilakukan evaluasi melalui nilai CE90 dan LE90. Hasil evaluasi dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Evaluasi Nilai Ketelitian Geometri Peta Berdasarkan Standar Yang Berlaku

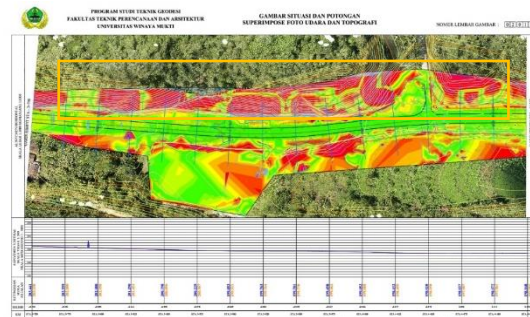
Ketelitian	Hasil uji	Ketelitian peta skala 1:1000		
		Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
Horizontal (CE90)	0,281085	0.2	0.3	0.5
Vertikal (LE90)	0,268120	0.2	0.3	0.5

Peta orthophoto berdasar hasil evaluasi sudah berada pada kisaran standar skala peta 1:1000 kelas 2 baik dari komponen horisontal dan vertikalnya.

5. Komparasi model elevasi digital UAV dengan peta topografi lokasi studi berdasar potongan memanjang dan melintang

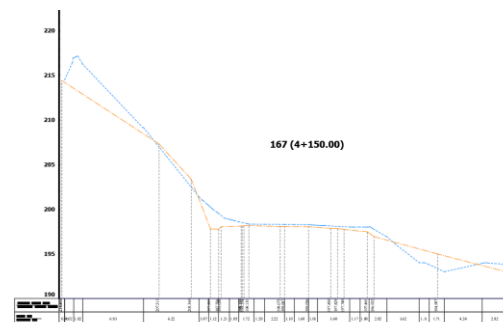
Hasil komparasi antara model elevasi digital (DEM) dari UAV dan peta topografi menunjukkan perbedaan elevasi di beberapa titik atau data yang dihasilkan dari pengolahan tidak homogen, terutama di area dengan tutupan vegetasi tebal dan topografi curam. Analisis ini dilakukan dengan overlay kedua data dalam tampak atas, profil memanjang, dan potongan melintang sepanjang koridor jalan. Penyusunan simbologi kesalahan ketinggian tampilan tampak atas mengikuti Perka BIG No. 15 Tahun 2014 tentang standar ketelitian peta dasar skala 1:1.000 hingga 1:1.000.000. Nilai ketelitian tersebut dikonversi menjadi kesalahan maksimal per titik di peta menggunakan LE90. Dalam studi ini, RMSEz diambil

sebagai kesalahan terbesar pada setiap kategori peta dasar, dengan asumsi bahwa semua titik uji memiliki kesalahan yang sama. Berikut adalah sampel peta hasil komparasi kedua model data.



Gambar 5. Peta Komparasi Model Elevasi Digital UAV Dan Data Topografi.

Gambaran sebaran kesalahan nilai tinggi rata-rata di sepanjang koridor lokasi studi menunjukkan bahwa area dengan bukit atau vegetasi cenderung menghasilkan informasi ketinggian yang kurang akurat pada model elevasi digital UAV.



Gambar 6. Potongan Melintang Pada Sta 4+150.

Potongan melintang jalan pada sta 4+150 menunjukkan kondisi kesalahan nilai tinggi di lokasi studi sepanjang ruang manfaat jalan. Meskipun kedua data terpetakan dengan baik, model elevasi digital dari foto udara kurang dapat menggambarkan detail saluran drainase, talud, dan lereng tebing. Penggunaan algoritma filtering yang handal sangat

berpengaruh pada hasil, namun pada pengolahan ini hanya menggunakan algoritma standar dari Agisoft. Selain itu, proses konversi model elevasi digital menjadi garis kontur di software CAD, dengan pengambilan data pada interval 1 meter, juga berpengaruh signifikan terhadap peta kontur yang dihasilkan.

Sebagian besar data DEM UAV memenuhi kriteria ketelitian untuk peta skala 1:1000, dengan sebaran kesalahan elevasi yang terklasifikasi berdasarkan standar Perka BIG No. 15 Tahun 2014. Distribusi kesalahan menunjukkan bahwa, **45,31% area** berada dalam kategori ketelitian skala 1:1000, **34,54% area** sesuai dengan skala 1:2500, dan **20,14% area** masuk dalam skala 1:5000 atau lebih rendah, terutama di area tertutup vegetasi.

6. Komparasi efisiensi proses akuisisi data dari kedua metode.

Berdasarkan RAW data pengukuran dan pengolahan data, dapat dibuatkan asumsi anggaran pelaksanaan pekerjaan dari masing-masing metode pemetaan, tahapan pelaksanaan pekerjaan, alat, personil dan lama waktu pelaksanaan menjadi inputan untuk asumsi anggaran pelaksanaan pekerjaannya.

Berdasarkan item pekerjaan diatas dapat dilakukan analisis terkait efisiensi dari kedua metode pelaksanaan. Hasilnya menunjukkan bahwa metode UAV memiliki keunggulan signifikan dalam hal waktu dan biaya. Ditunjukkan dari waktu pengambilan yang relatif lebih singkat dan jauh membutuhkan personil dan peralatan yang lebih ringkas. Hal ini berdampak kepada penekanan biaya operasional di lapangan. Sedangkan untuk pengolahan datanya, waktu pengolahan data yang diperlukan sama, namun kompleksitas dan

pengalaman personil dalam pengolahan berbeda. Pengolahan data terrestrial untuk menghasilkan peta yang akurat tergantung pada titik-titik detail yang diukur. Sebaliknya, pengolahan data UAV memerlukan langkah lanjutan untuk mengekstrak informasi dari model elevasi digital, yang sering kali menyebabkan masalah kinerja pada perangkat lunak CAD. Hasil analisis validasi menunjukkan bahwa meskipun ada hasil signifikan dalam pengujian ICP pada point cloud, proses ekstraksi informasi keruangan dapat mengakibatkan hilangnya data penting. Berikut adalah tabel komparasi dari kedua metode.

Tabel 4. Komparasi Item Pekerjaan Dari Kedua Metode Pelaksanaan

Komponen	Pemetaan Terrestrial	Pemetaan dengan UAV
Lama pengambilan data	6 hari	1 hari
Lama pengolahan data	2 hari	2 hari
Biaya personil pengambilan data	Rp. 6.000.000	Rp. 475.000
Biaya Peralatan pengambilan data	Rp. 4.610.000	Rp. 775.000
Biaya personil pengolahan data	Rp.500.000	Rp. 500.000
Biaya peralatan pengolahan data	Rp. 420.000	Rp. 5.844.000
Total pembiayaan	Rp. 11.530.000	Rp. 7.594.000

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemetaan foto udara menggunakan UAV menghasilkan peta orthophoto

- dengan GSD 2.19 cm/pixel, mampu mengidentifikasi objek lebih besar dari 3 cm. Ketelitian peta memenuhi standar skala 1:1000 kelas 2.
2. Peta *orthophoto* tidak langsung cocok untuk perencanaan jalan raya karena data fotogrametri yang besar. Untuk informasi keruangan, perlu ekstraksi kontur dari model elevasi digital, yang dapat mengakibatkan kehilangan informasi. Luasan yang terpetakan adalah 124767.84 m², dengan distribusi skala 1:1000 (45.32%), 1:2500 (34.54%), dan 1:5000 (20.14%).
 3. Metode pemetaan UAV efisien dalam waktu dan mengurangi kebutuhan personil, namun pengolahan data lebih mahal dan memerlukan peralatan serta software khusus.
 4. Hasil penelitian dapat digunakan untuk menganalisis perubahan tata guna ruang jalan dan pemetaan aset jalan raya dengan biaya yang lebih rendah.

SARAN

Saran yang dapat penulis berikan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian analisis validasi model elevasi digital *orthophoto* memiliki catatan, seperti data pembanding topografi yang tidak sesuai standar dan pengambilan titik detail yang belum representatif. Disarankan untuk menggunakan data yang sesuai dengan standar pemetaan jalan raya.
2. Data foto udara diambil dari dua kali penerbangan dengan ketinggian berbeda, mempengaruhi GSD. Pada penelitian selanjutnya, perlu mempertahankan ketinggian yang sama untuk mencapai GSD yang konsisten.
3. Dalam penelitian ini sudut pengambilan foto udara adalah 90 derajat, tetapi perlu dipertimbangkan untuk menggunakan sudut lain agar objek yang tertutup kanopi dapat diidentifikasi dalam 3D.
4. Sebaran titik Ground Control Points (GCP) sebaiknya merata untuk meningkatkan proses rektifikasi.
5. Untuk informasi keruangan yang akurat dari model elevasi digital, perlu dipertimbangkan penggunaan algoritma lain guna meningkatkan ketelitian peta.
6. Metode pemetaan menggunakan UAV pada jalan raya memiliki potensi yang menjanjikan, termasuk pemetaan aset jalan dan analisis konstruksi. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi potensi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Driarkara, B., & Cahyono, B. (2023). Evaluasi Geometrik Jalan Lintas Selatan Tambakmulyo – Wawar Kabupaten Kebumen Provinsi Jawa Tengah Berdasarkan Gambar Detailed Engineering Design (DED) dan Gambar Hasil Pekerjaan (As Built Drawing). *Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 103-110.
- Failusuf, N., Suwardhi, D., & Mertotaroeno, S. (2018). Monitoring Geometri Konstruksi Jalan Tol Menggunakan Fotogrametri Wahana Tanpa Awak. *Seminar Nasional Geomatika*, 29-38.

- Handayani, A., Saptari, A., Abdulharis, R., Hernandi, D., & Hendriatiningsih, S. (2018). Penyediaan Peta Daerah Konflik untuk Manajemen. *ITB Indonesian Journal of Geospatial* , 35-40.
- Hartanto. (2021). Pengembangan Lanjutan Aplikasi Indonesia. *Media Informatika Vol.20 No.1 Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer LIKMI*, 31-39.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga. (2021). *Manual Aplikasi Sistem Program Pemeliharaan Jalan Provinsi/Kabupaten*. Jakarta Selatan: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Maharani, M., & Kuncoro, H. (2018). Analisis Pengaruh Jumlah dan Sebaran Ground Control. *ITB Indonesian Journal of Geospatial*, 51-62.
- Purwanto, T. H. (2017). Pemanfaatan Foto Udara Format Kecil untuk Ekstraksi Digital Elevation Model dengan. *Majalah Geografi Indonesia*, 73 - 89.
- Rachma, Y., Prasetyo, Y., & Yuwono , B. (2018). Analisis Akurasi Ketelitian Vertikal Menggunakan Foto. *Jurnal Geodesi Undip*, 244-253.
- Sadikin, H., Suwardhi, D., & Gumilar, I. (2019). Topographic Mapping using Unmanned Aerial Vehicle (UAV)Technology - Photogrammetry Method. *FIG Working Week*, 1-12.
- Saputra, O., Hadi, M., & Suharyadi. (2017). Simulasi Penggunaan Lahan dan Transportasi Massal untuk Pemodelan Pelayanan Jalan di Koridor Jalan Godean. *Majalah Geografi Indonesia*, 88-96.
- Yuwono, B. D., Afani, I. Y., & Bashit, N. (2019). Optimalisasi Pembuatan Peta Kontur Skala Besar. *Jurnal Geodesi Undip*, 180 – 189.