JoG Vol.01 No.01 (2026), pp. 1 - 11

Journal of Geosurface (JoG)

ISSN: 3124-3444 | https://ejournal.uigm.ac.id/index.php/JoG

ANALISIS KETELITIAN FOTO UDARA HASIL AKUISISI UAV MENGGUNAKAN *GROUND CONTROL POINT* (GCP) DAN *INDEPENDENT CHECK POINT* (ICP) DESA TUGU, KECAMATAN REJOTANGAN, KABUPATEN TULUNGAGUNG

(ANALYSIS OF THE ACCURACY OF UAV-ACQUIRED AERIAL PHOTOGRAPHS USING GROUND CONTROL POINTS (GCPS) AND INDEPENDENT CHECK POINTS (ICPS) IN TUGU VILLAGE, REJOTANGAN DISTRICT, TULUNGAGUNG REGENCY)

Mella Sintia[1]*, Ahmad Ridho Sastra[2], Virgus Ari Sondang[3]

[1] *Program Studi Survei dan Pemetaan, Universitas Indo Global Mandiri, Jl. Jend. Sudirman, Km.4 No. 62, Kota Palembang, Indonesia*

[2,3] *Program Studi Teknik Geomatika, Universitas Indo Global Mandiri, Jl. Jend. Sudirman, Km.4 No. 62, Kota Palembang, Indonesia*

* Corresponding author : mellasintia123@gmail.com

Received: May 7, 2026; Accepted: Jun 25, 2026.

Abstrak

Pemanfaatan teknologi pesawat tanpa awak (*Unmanned Aerial Vehicle*/UAV) menjadi solusi efisien dalam penyediaan data geospasial yang akurat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis ketelitian *orthophoto* dan *Digital Elevation Model* (DEM) hasil akuisisi UAV dengan menggunakan *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Check Point* (ICP). Pemotretan udara dilakukan di Desa Tugu, Kecamatan Rejotangan, Kabupaten Tulungagung pada ketinggian 253 meter, menghasilkan 881 foto dengan resolusi spasial 6,13 cm/piksel yang mencakup area seluas 11,7 km². Metode penelitian meliputi pengukuran GCP dan ICP, pengolahan foto udara melalui proses *orthorektifikasi* menggunakan skenario 4 dan 6 GCP, pembuatan DEM, serta uji akurasi menggunakan 7 ICP. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan jumlah GCP dari 4 menjadi 6 meningkatkan akurasi horizontal dan vertikal. Nilai RMSE horizontal untuk 4 GCP sebesar 0,8393 meter dengan CE90 1,2736 meter, sedangkan untuk 6 GCP sebesar 0,6766 meter dengan CE90 1,0268 meter. Akurasi vertikal meningkat dari RMSE 3,3418 meter (LE90 5,5136 meter) menjadi RMSE 2,4987 meter (LE90 4,1226 meter). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan UAV dengan GCP dan ICP mampu memenuhi standar ketelitian peta skala 1:25.000 kelas 1 dan kelas 2, serta memberikan rekomendasi jumlah GCP yang optimal dalam pemetaan.

Kata Kunci: *GCP, ICP, Akurasi, DEM, UAV*

Abstract

The use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) technology has become an efficient solution for providing accurate geospatial data. This study aims to analyze the accuracy of orthophotos and Digital Elevation Models (DEM) generated from UAV acquisition using Ground Control Points (GCP) and Independent Check Points (ICP). Aerial photography was conducted in Tugu Village, Rejotangan District, Tulungagung Regency at an altitude of 253 meters, producing 881 photos with a spatial resolution of 6.13 cm/pixel covering an area of 11.7 km². The research methods included GCP and ICP measurements, aerial photo processing through orthorectification using scenarios of 4 and 6 GCPs, DEM generation, and accuracy testing using 7 ICPs. The results indicate that increasing the number of GCPs from 4 to 6 improves both horizontal and vertical accuracy. The horizontal RMSE for 4 GCPs was 0.8393 meters with CE90 of 1.2736 meters, while for 6 GCPs it was 0.6766 meters with CE90 of 1.0268 meters. Vertical accuracy improved from RMSE 3.3418 meters (LE90 5.5136 meters) to RMSE 2.4987 meters (LE90 4.1226 meters). The study shows that UAV data supported by GCP and ICP meets the accuracy standards for 1:25,000 scale mapping class 1 and class 2 and provides recommendations for the optimal number of GCPs in mapping projects.

Keywords: *GCP, ICP, Accuracy, DEM, UAV*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi survei dan pemetaan dalam dua dekade terakhir mengalami kemajuan yang sangat pesat, terutama dengan hadirnya teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dalam bidang fotogrametri. UAV mampu menghasilkan citra udara beresolusi spasial tinggi dengan waktu akuisisi yang relatif singkat, biaya operasional yang lebih rendah, serta fleksibilitas pelaksanaan survei dibandingkan metode pemetaan konvensional maupun citra satelit resolusi tinggi. Keunggulan ini menjadikan UAV sebagai salah satu platform utama dalam penyediaan data geospasial untuk berbagai keperluan seperti perencanaan tata ruang, inventarisasi lahan, pemetaan permukiman, hingga analisis topografi permukaan tanah (Prayogo et al., 2020; Syauqani et al., 2017; Panjaitan dan Supit, 2021).

Dalam proses fotogrametri berbasis UAV, kualitas produk yang dihasilkan seperti orthophoto dan *Digital Elevation Model* (DEM) sangat dipengaruhi oleh ketelitian geometri hasil pengolahan citra. Ketelitian tersebut tidak hanya ditentukan oleh resolusi spasial citra, tetapi juga sangat bergantung pada penggunaan *Ground Control Point* (GCP). GCP berfungsi sebagai referensi koordinat di permukaan bumi yang digunakan untuk mengoreksi distorsi geometrik pada proses orthorektifikasi serta meningkatkan akurasi posisi hasil model tiga dimensi. Selain itu, untuk mengevaluasi ketelitian hasil pengolahan, digunakan *Independent Check Point* (ICP) yang berperan sebagai titik uji independen terhadap hasil model yang terbentuk (Sastra et al., 2023; Hasim & Basyid, 2021) .

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa jumlah, distribusi, serta kualitas pengukuran GCP memiliki pengaruh yang signifikan terhadap ketelitian produk fotogrametri UAV. Semakin banyak GCP yang digunakan dan semakin merata distribusinya, maka kesalahan geometrik dapat diminimalkan sehingga menghasilkan *orthophoto* yang lebih presisi dan DEM yang lebih representatif terhadap kondisi topografi sebenarnya. Namun, penggunaan GCP dalam jumlah besar di lapangan memerlukan waktu, tenaga, dan biaya tambahan. Oleh karena itu, diperlukan kajian untuk mengetahui jumlah GCP yang optimal yang tetap mampu menghasilkan produk dengan ketelitian yang memenuhi standar pemetaan (Duantari et al., 2017; Al Amin, 2017; Afani et al., 2019).

Ketelitian hasil pemetaan foto udara perlu diuji dan dievaluasi berdasarkan standar yang telah ditetapkan secara nasional. Di Indonesia, standar ketelitian peta dasar diatur dalam Peraturan Kepala (BADAN INFORMASI GEOSPASIAL, n.d.), Nomor 6 Tahun 2018 yang menggunakan parameter *Root Mean Square Error* (RMSE), Circular Error 90% (CE90) untuk ketelitian horizontal, serta Linear Error 90% (LE90) untuk ketelitian vertikal. Parameter ini menjadi acuan penting dalam menentukan kelas ketelitian peta berdasarkan skala tertentu, sehingga hasil pemetaan UAV dapat diketahui kelayakannya untuk digunakan dalam kegiatan pemetaan skala besar maupun menengah (Soma et al., 2024; Andini et al., 2016)

Desa Tugu, Kecamatan Rejotangan, Kabupaten Tulungagung dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki karakteristik tutupan lahan yang beragam seperti permukiman, jalan, vegetasi, dan lahan terbuka yang sangat representatif untuk pengujian kualitas produk fotogrametri. Variasi objek di permukaan tanah ini memberikan kondisi yang ideal untuk menganalisis pengaruh jumlah GCP terhadap kualitas orthophoto dan DEM yang dihasilkan.

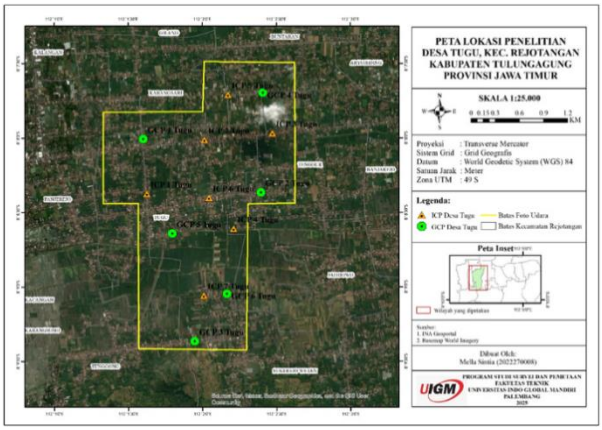
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah GCP, yaitu 4 titik dan 6 titik, terhadap ketelitian *orthophoto* dan DEM hasil pemotretan UAV. Ketelitian tersebut diuji menggunakan 7 titik ICP dan dianalisis berdasarkan parameter RMSE, CE90, dan LE90 sesuai standar PERKA BIG No. 6 Tahun 2018. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat

memberikan rekomendasi praktis mengenai jumlah GCP yang optimal dalam pemetaan UAV sehingga diperoleh keseimbangan antara efisiensi pekerjaan lapangan dan kualitas produk geospasial yang dihasilkan.

2. KONDISI WILAYAH PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Desa Tugu, Kecamatan Rejotangan, Kabupaten Tulungagung, Provinsi Jawa Timur dengan luas cakupan pemotretan sekitar 11,7 km² (Gambar 1). Wilayah ini memiliki topografi yang bervariasi dari relatif datar hingga bergelombang, sehingga sesuai untuk pengujian ketelitian *Digital Elevation Model* (DEM) dalam merepresentasikan perubahan elevasi permukaan tanah.

Tutupan lahan di lokasi penelitian cukup heterogen, meliputi area permukiman, jaringan jalan, vegetasi, lahan pertanian, dan lahan terbuka. Keberagaman objek ini mendukung proses identifikasi titik GCP dan ICP yang jelas pada citra udara sekaligus menjadi faktor penting dalam evaluasi kualitas *orthophoto*.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian juga memiliki akses lapangan yang baik, sehingga memudahkan pengukuran titik kontrol menggunakan GPS Geodetik metode RTK. Kondisi cuaca saat pemotretan yang cerah turut menghasilkan citra dengan kualitas visual yang baik, mendukung proses pengolahan fotogrametri. Karakteristik wilayah ini menjadikan Desa Tugu representatif sebagai area studi untuk menganalisis pengaruh jumlah GCP terhadap ketelitian produk fotogrametri UAV.

3. DATA DAN METODE

Penelitian ini menggunakan data foto udara hasil akuisisi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) yang mencakup wilayah Desa Tugu seluas ±11,7 km². Akuisisi citra dilakukan pada ketinggian terbang 253 meter di atas permukaan tanah dengan parameter tumpang tindih memanjang (*forward overlap*) sebesar 70% dan tumpang tindih samping (*sidelap*) sebesar 50%. Konfigurasi ini menghasilkan 881 foto udara dengan ground sampling distance (GSD) sekitar 6,13 cm/piksel, yang memadai untuk pemetaan skala menengah. Pemotretan dilakukan pada kondisi cuaca cerah untuk meminimalkan bayangan dan meningkatkan kualitas pencocokan citra (*image matching*).

GPS geodetik digunakan untuk mengukur titik kontrol menggunakan teknik *Real-Time Kinematic* (RTK). Terdapat dua kategori titik kontrol *Independent Check Point* (ICP) digunakan untuk mengkonfirmasi keakuratan hasil, sedangkan *Ground Control Point* (GCP) digunakan dalam proses georeferensi. Pada penelitian ini digunakan dua skenario jumlah GCP, yaitu 4 titik dan 6 titik, sedangkan jumlah ICP yang digunakan sebanyak 7 titik. Penempatan titik-titik tersebut dipilih pada lokasi yang mudah dikenali pada citra seperti sudut bangunan, persimpangan jalan, dan area terbuka, serta didistribusikan secara merata pada area penelitian untuk meminimalkan distorsi geometrik.

Pengolahan data fotogrametri dilakukan menggunakan perangkat lunak *Agisoft Metashape* melalui tahapan sebagai berikut:

1. *Align Photos* untuk proses pencocokan dan orientasi awal citra.
2. *Import* dan *marking* GCP pada citra untuk proses koreksi geometrik.

3. *Build Dense Cloud* untuk membentuk model titik rapat tiga dimensi.
4. *Build Mesh* untuk membentuk model permukaan.
5. *Build* DEM untuk menghasilkan model elevasi digital.
6. *Build Orthomosaic* untuk menghasilkan orthophoto terkoreksi geometrik.

Dua pengolahan dilakukan secara terpisah berdasarkan jumlah GCP (4 dan 6 titik) dengan parameter pemrosesan yang sama, sehingga perbedaan hasil yang diperoleh hanya dipengaruhi oleh variasi jumlah GCP.

Dengan membandingkan koordinat model dengan koordinat ICP yang diperoleh dari pengukuran lapangan, pengujian akurasi dilakukan. Metrik *Root Mean Square Error* (RMSE) digunakan dalam estimasi akurasi untuk komponen vertikal dan horizontal. Selanjutnya, menggunakan rumus tersebut, nilai RMSE diubah menjadi *Circular Error* 90% (CE90) untuk akurasi horizontal dan *Linear Error* 90% (LE90) untuk akurasi vertikal:

$$CE90 = 1{,}5175 \times RMSEr \quad (1)$$

$$LE90 = 1{,}6499 \times RMSEz \quad (2)$$

Kelas akurasi peta kemudian ditentukan dengan membandingkan data CE90 dan LE90 dengan persyaratan akurasi peta yang berasal dari Peraturan BIG Nomor 6 Tahun 2018. Dampak kuantitas GCP terhadap kualitas ortofoto dan DEM yang dihasilkan oleh fotografi UAV dievaluasi menggunakan teknik ini.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan foto udara UAV menghasilkan dua produk utama, yaitu *orthophoto* dan *Digital Elevation Model* (DEM), berdasarkan dua variasi jumlah GCP, yaitu 4 titik dan 6 titik, dengan parameter pemrosesan yang sama. Perbedaan kualitas geometrik yang dihasilkan menunjukkan pengaruh langsung dari jumlah dan distribusi GCP terhadap ketelitian model fotogrametri.

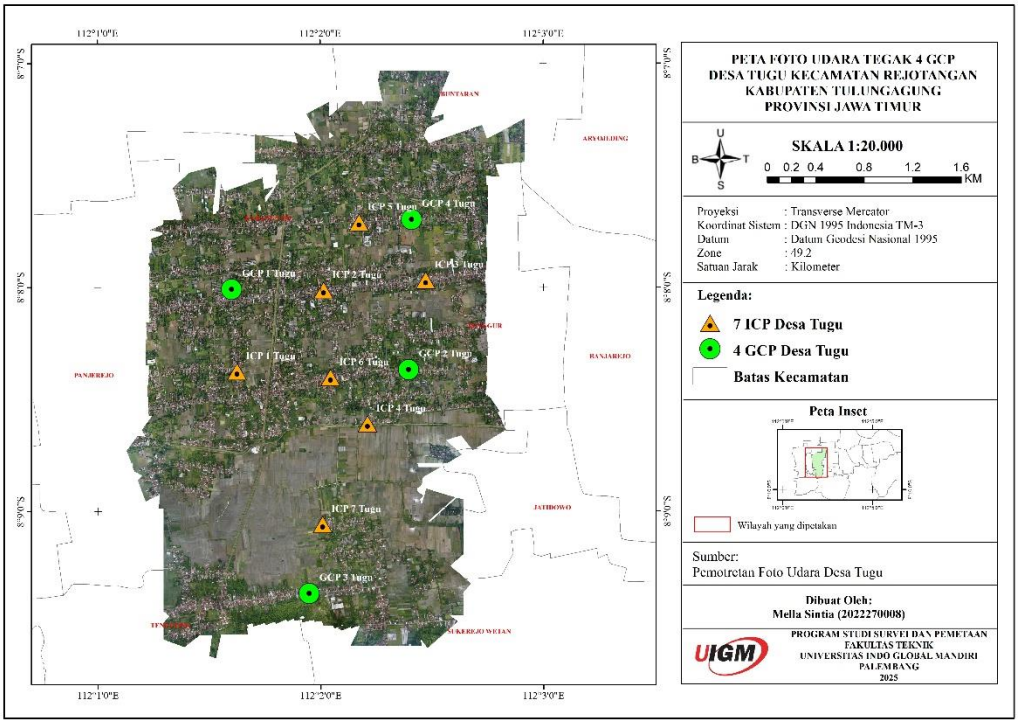
4.1. Kualitas Orthophoto

Secara visual, *orthophoto* yang dihasilkan pada penggunaan 4 GCP telah mengalami proses koreksi geometrik sehingga mampu menampilkan objek permukaan tanah tanpa distorsi perspektif akibat kemiringan kamera. Namun demikian, masih terlihat adanya sedikit pergeseran posisi beberapa objek, terutama pada bagian tepi area pemotretan dan pada lokasi yang relatif jauh dari titik kontrol. Pergeseran ini dapat diamati pada elemen-elemen yang memiliki bentuk tegas seperti sudut bangunan, tepi jalan, dan batas lahan, yang tampak belum sepenuhnya presisi jika dibandingkan dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Kondisi ini menunjukkan bahwa jumlah dan distribusi GCP yang terbatas belum mampu mengikat keseluruhan blok foto secara optimal, sehingga masih menyisakan distorsi geometrik kecil pada hasil *orthomosaic*.

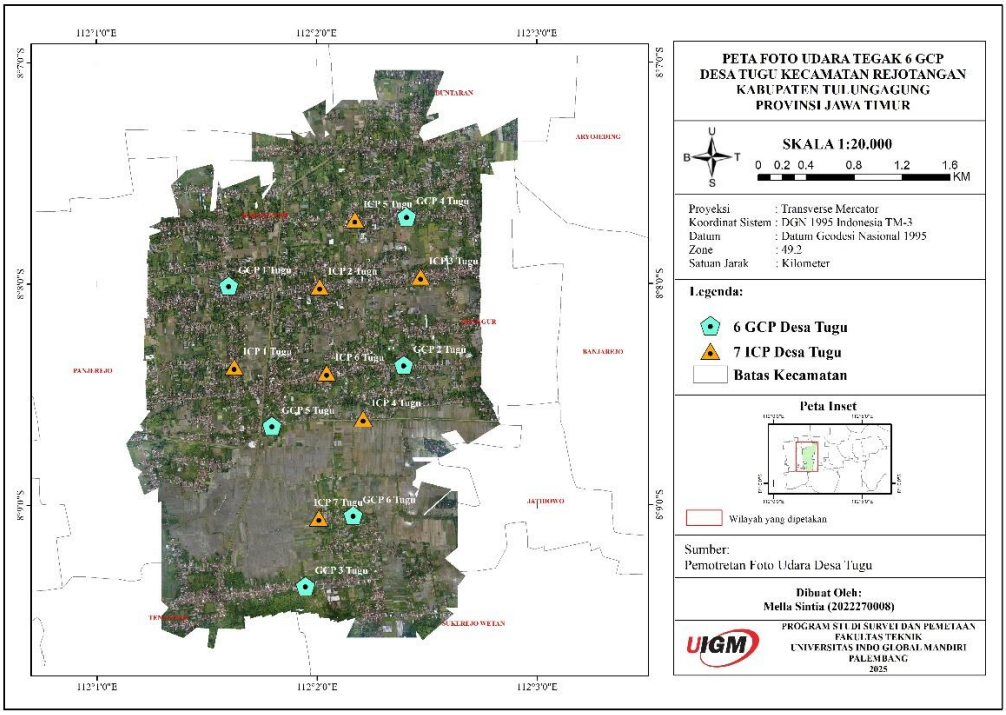
Pada penggunaan 6 GCP, *orthophoto* yang dihasilkan menunjukkan peningkatan kualitas geometrik yang lebih baik. Posisi objek-objek di permukaan tanah tampak lebih presisi, konsisten, dan sesuai dengan posisi sebenarnya. Penambahan jumlah GCP yang terdistribusi lebih merata pada area penelitian mampu memperkuat ikatan geometrik antar foto dalam satu blok pemotretan, sehingga kesalahan posisi yang sebelumnya terlihat pada bagian tepi area dapat diminimalkan. Garis tepi jalan, sudut bangunan, serta batas-batas objek tampak lebih tajam dan stabil secara spasial, yang menandakan bahwa proses *orthorektifikasi* berjalan dengan lebih optimal.

Perbandingan visual antara Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa penambahan jumlah GCP memberikan peningkatan kualitas posisi horizontal yang cukup signifikan. Hal ini terlihat dari kesesuaian posisi objek seperti sudut bangunan, tepi jalan, dan batas lahan yang tampak lebih presisi serta minim pergeseran pada hasil *orthophoto* dengan 6 GCP. Distribusi titik kontrol yang lebih merata mampu memperkuat ikatan

geometrik antar foto dalam satu blok pemotretan, sehingga distorsi yang sebelumnya muncul pada bagian tepi area dapat diminimalkan dan menghasilkan *orthomosaic* yang lebih akurat secara spasial.



Gambar 2. *Orthophoto* hasil pengolahan menggunakan 4 GCP



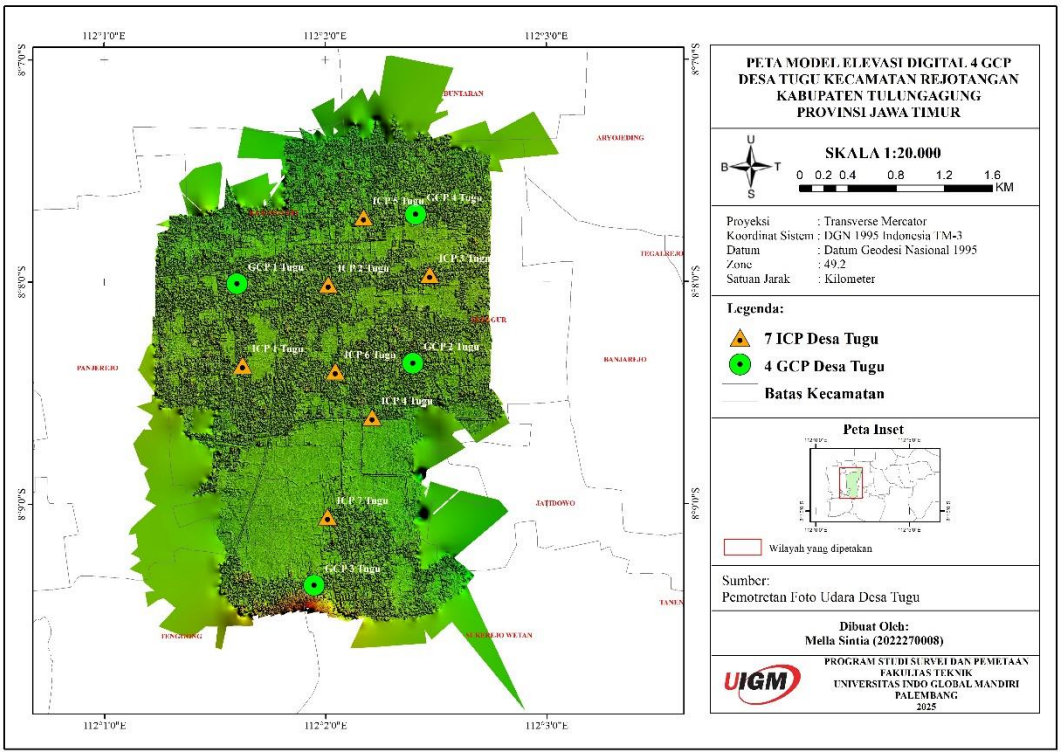
Gambar 3. *Orthophoto* hasil pengolahan menggunakan 6 GCP

4.2. Kualitas DEM

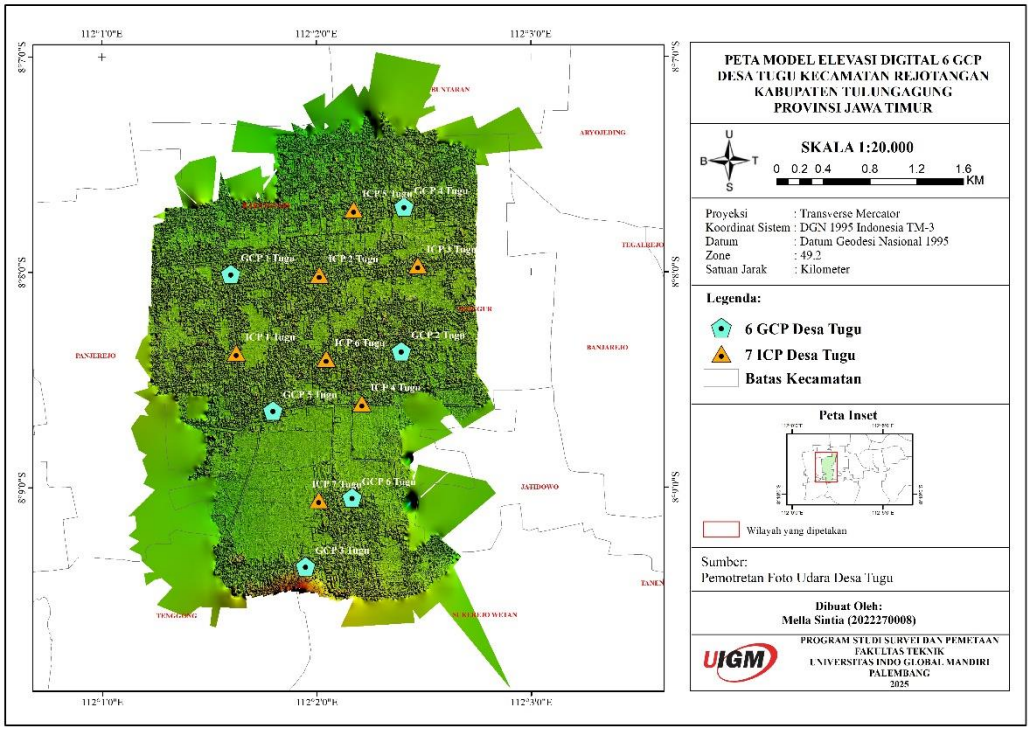
DEM yang dihasilkan dari pengolahan menggunakan 4 GCP secara umum telah mampu merepresentasikan bentuk permukaan tanah pada wilayah penelitian. Namun demikian, pada beberapa bagian masih terlihat permukaan elevasi yang kurang halus, terutama pada area yang memiliki variasi topografi seperti lahan bergelombang dan peralihan antara lahan datar dengan area yang lebih tinggi. Pada bagian-bagian tersebut tampak adanya ketidakrataan permukaan dan perubahan elevasi yang tidak sepenuhnya mengikuti kondisi nyata di lapangan. Hal ini mengindikasikan bahwa kontrol geometrik vertikal yang terbentuk dari jumlah GCP yang terbatas belum mampu mengikat keseluruhan model elevasi secara merata, khususnya pada area yang berada jauh dari titik kontrol.

Keterbatasan jumlah GCP menyebabkan proses pembentukan model tiga dimensi dari dense cloud belum sepenuhnya stabil dalam merepresentasikan detail ketinggian permukaan. Beberapa bagian DEM menunjukkan transisi elevasi yang kurang konsisten serta adanya variasi nilai ketinggian yang tampak tidak wajar jika dibandingkan dengan kondisi topografi sebenarnya. Kondisi ini memperlihatkan bahwa kesalahan kecil pada orientasi geometrik foto dapat berdampak pada kualitas model elevasi yang dihasilkan.

Sementara, DEM hasil pengolahan dengan 6 GCP memperlihatkan representasi elevasi yang lebih halus dan mendekati kondisi topografi sebenarnya. Perubahan elevasi pada area bergelombang dapat tergambarkan dengan lebih baik, serta transisi antar ketinggian terlihat lebih konsisten tanpa adanya lonjakan nilai yang tidak wajar. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan GCP memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan ketelitian vertikal model.



Gambar 4. DEM hasil pengolahan menggunakan 4 GCP



Gambar 5. DEM hasil pengolahan menggunakan 6 GCP.

Perbandingan antara Gambar 4 dan Gambar 5 memperlihatkan bahwa distribusi GCP yang lebih banyak mampu memperbaiki kualitas pembentukan permukaan elevasi pada DEM secara signifikan. Model elevasi yang dihasilkan menjadi lebih stabil, detail perubahan tinggi permukaan lebih mudah diidentifikasi, serta kesalahan representasi topografi dapat ditekan seminimal mungkin. Hal ini menegaskan bahwa jumlah GCP tidak hanya berpengaruh terhadap ketelitian horizontal *orthophoto*, tetapi juga sangat menentukan kualitas vertikal dari DEM yang dihasilkan, khususnya dalam merepresentasikan bentuk topografi permukaan tanah secara lebih akurat dan mendekati kondisi sebenarnya.

4.3. Hasil Uji Akurasi Horizontal dan Vertikal

Keakuratan *orthophoto* dan *Digital Elevation Model* (DEM) yang dihasilkan dari pemrosesan foto udara menggunakan *Agisoft Metashape* dievaluasi melalui uji akurasi horizontal dan vertikal. Pengujian dilakukan dengan membandingkan *koordinat Independent Check Point* (ICP) hasil pengukuran lapangan dengan koordinat ICP yang diekstrak dari *orthophoto* dan DEM. Parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan adalah *Root Mean Square Error* (RMSE), yang selanjutnya dikonversi menjadi CE90 untuk akurasi horizontal dan LE90 untuk akurasi vertikal.

4.3.1. Hasil Uji Akurasi Horizontal

Uji akurasi horizontal dilakukan dengan membandingkan koordinat X dan Y dari ICP pada *orthophoto* dengan koordinat hasil pengukuran lapangan. Selisih koordinat tersebut dihitung untuk memperoleh nilai dX dan dY, yang kemudian digunakan dalam perhitungan RMSEr. Hasil uji akurasi horizontal menggunakan 4 GCP menunjukkan nilai RMSEr sebesar 0,8393 meter. Berdasarkan nilai tersebut, diperoleh akurasi horizontal CE90 sebesar 1,2736 meter. Nilai ini menunjukkan bahwa kesalahan posisi objek pada *orthophoto* masih berada dalam batas toleransi pemetaan skala menengah. Pada penggunaan 6 GCP diperoleh nilai RMSEr sebesar 0,6766 meter, yang

menghasilkan nilai CE90 sebesar 1,0268 meter. Nilai ini menunjukkan adanya peningkatan ketelitian posisi horizontal yang cukup signifikan akibat penambahan jumlah GCP.

Tabel 1. Uji Akurasi Horizontal Menggunakan 4 GCP

ICP	ICP PENGUKURAN LAPANGAN			ICP FOTO UDARA. TIF			dX	dY	dX^2	dY^2	dX^2 + dY^2
	X	Y	Z	X	Y	Z					
1	147887.8381	599971.1809	132.2381	147887.5214	599970.6815	136.6848	-0.317	-0.499	0.100	0.249	0.350
2	148599.8942	600639.7390	134.1191	148599.5467	600639.2099	134.5794	-0.348	-0.529	0.121	0.280	0.401
3	149442.0626	600722.7393	134.5611	149441.8455	600722.6307	137.4185	-0.217	-0.109	0.047	0.012	0.059
4	148963.3010	599539.9299	133.8681	148964.1217	599540.8019	129.1153	0.821	0.872	0.674	0.760	1.434
5	148892.5164	601198.8975	133.8961	148891.5916	601198.2016	129.827	-0.925	-0.696	0.855	0.484	1.340
6	148657.2580	599921.8187	133.5734	148657.4710	599922.5806	135.1031	0.213	0.762	0.045	0.580	0.626
7	148593.4266	598712.8596	133.5961	148594.2672	598712.7352	130.6745	0.841	-0.124	0.707	0.015	0.722
Jumlah											**4.931**
Rata - Rata											**0.704**
RMSEr											**0.8393**
Akurasi Horizontal											**1.2736**

Tabel 2. Uji Akurasi Horizontal Menggunakan 6 GCP

ICP	ICP PENGUKURAN LAPANGAN			ICP FOTO UDARA. TIF			dX	dY	dX^2	dY^2	dX^2 + dY^2
	X	Y	Z	X	Y	Z					
1	147887.8381	599971.1809	132.2381	147887.2929	599970.6490	135.6182	-0.545	-0.532	0.297	0.283	0.580
2	148599.8942	600639.739	134.1191	148599.3313	600639.0346	135.2751	-0.563	-0.704	0.317	0.496	0.813
3	149442.0626	600722.7393	134.5611	149441.9925	600722.6369	136.3221	-0.070	-0.102	0.005	0.010	0.015
4	148963.301	599539.9299	133.8681	148963.8056	599540.3906	132.3786	0.505	0.461	0.255	0.212	0.467
5	148892.5164	601198.8975	133.8961	148891.7568	601198.1364	130.0333	-0.760	-0.761	0.577	0.579	1.156
6	148657.258	599921.8187	133.5734	148657.2614	599922.1939	136.8242	0.003	0.375	0.000	0.141	0.141
7	148593.4266	598712.8596	133.5961	148593.606	598712.8644	133.2311	0.179	0.005	0.032	0.000	0.032
Jumlah											**3.205**
Rata - Rata											**0.458**
RMSEr											**0.6766**
Akurasi Horizontal											**1.0268**

Berdasarkan Tabel 1 dan 2 terlihat bahwa penambahan jumlah GCP dari 4 menjadi 6 mampu menurunkan nilai RMSEr dan meningkatkan akurasi horizontal. Peningkatan jumlah dan distribusi GCP membantu mengurangi distorsi geometrik pada *orthophoto*. Akurasi horizontal yang diperoleh menunjukkan bahwa posisi objek memiliki kesalahan sekitar 1,27 meter (4 GCP) dan 1,03 meter (6 GCP) pada tingkat kepercayaan 90%, yang cukup baik untuk kebutuhan pemetaan skala menengah seperti perencanaan tata ruang.

4.3.2. Hasil Uji Akurasi Vetikal

Uji akurasi vertikal dilakukan dengan membandingkan koordinat Z (ketinggian) ICP hasil pengukuran lapangan dengan ketinggian ICP yang diekstrak dari DEM. Selisih ketinggian tersebut digunakan untuk menghitung RMSEz. Hasil uji akurasi vertikal menggunakan 4 GCP menunjukkan nilai RMSEz sebesar 3,3418 meter, yang menghasilkan nilai LE90 sebesar 5,5136 meter. Nilai ini menunjukkan bahwa meskipun DEM telah mampu merepresentasikan bentuk permukaan tanah, masih terdapat kesalahan elevasi yang cukup besar pada beberapa bagian. Pada penggunaan 6 GCP diperoleh nilai RMSEz sebesar 2,4987 meter dan nilai LE90 sebesar 4,1226 meter. Nilai ini menunjukkan adanya peningkatan ketelitian vertikal setelah penambahan jumlah GCP.

Tabel 3. Uji Akurasi Vertikal Menggunakan 4 GCP

ICP	ICP PENGUKURAN LAPANGAN	ICP FOTO UDARA	dZ	dZ^2
	Z	Z		
1	132.2381	136.6848	4.447	19.772996
2	134.1191	134.5794	0.460	0.211845
3	134.5611	137.4185	2.857	8.165014
4	133.8681	129.1153	-4.753	22.589184
5	133.8961	129.8270	-4.069	16.557483
6	133.5734	135.1031	1.530	2.339832
7	133.5961	130.6745	-2.922	8.535651
Jumlah				**78.1720**
Rata - Rata				**11.1674**
RMSEz				**3.3418**
Akurasi Vertikal				**5.5136**

Tabel 4. Uji Akurasi Vertikal Menggunakan 6 GCP

ICP	ICP PENGUKURAN LAPANGAN	ICP FOTO UDARA	dZ	dZ^2
	Z	Z		
1	132.2381	135.6182	3.380	11.425378
2	134.1191	135.2751	1.156	1.336272
3	134.5611	136.3221	1.761	3.101250
4	133.8681	132.3786	-1.489	2.218552
5	133.8961	130.0333	-3.863	14.921602
6	133.5734	136.8242	3.251	10.567989
7	133.5961	133.2311	-0.365	0.133194
Jumlah				**43.7042**
Rata - Rata				**6.2435**
RMSEz				**2.4987**
Akurasi Vertikal				**4.1226**

Berdasarkan Tabel 3 dan 4 terlihat bahwa penambahan jumlah GCP memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan ketelitian vertikal DEM. Kesalahan elevasi berkurang dari 5,51 meter menjadi 4,12 meter pada tingkat kepercayaan 90%. Akurasi vertikal ini menjadi perhatian penting terutama jika DEM digunakan untuk analisis yang membutuhkan ketelitian

elevasi tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin banyak dan semakin merata distribusi GCP, maka semakin baik pula kualitas model elevasi yang dihasilkan. Selain itu, ketelitian pengukuran koordinat GCP menggunakan GPS Geodetik juga sangat berperan dalam menentukan kualitas akhir DEM.

4.4.Evaluasi Berdasarkan PERKA BIG No. 6 Tahun 2018

Hasil perhitungan nilai CE90 dan LE90 kemudian dievaluasi dengan mengacu pada standar ketelitian geometri peta RBI berdasarkan Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial (BIG) Nomor 6 Tahun 2018. Standar ini digunakan sebagai acuan untuk menentukan kelas ketelitian peta berdasarkan skala pemetaan dan nilai kesalahan horizontal serta vertikal.

Kesesuaian terhadap Standar Ketelitian PERKA BIG No. 6 Tahun 2018 dengan 4 GCP, *orthophoto* dan DEM memenuhi standar ketelitian untuk pembuatan peta skala 1:25.000 kelas 2. Sedangkan dengan 6 GCP, *orthophoto* dan DEM memenuhi standar ketelitian untuk pembuatan peta skala 1:25.000 kelas 1. Peningkatan jumlah GCP meningkatkan ketelitian peta secara keseluruhan, yang memungkinkan pemetaan dengan kelas ketelitian yang lebih tinggi. Pengaruh Jumlah GCP yang digunakan dalam pengolahan data foto udara sangat berpengaruh terhadap ketelitian dan kualitas produk yang dihasilkan. Penambahan GCP membantu mengurangi distorsi geometris dan meningkatkan akurasi posisi dan elevasi.

Tabel 5. Ketelitian Geometri Standar Peta RBI sesuai dengan Peraturan BIG No. 6 Tahun 2018

No	Skala	Interval Kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horisontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horisontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horisontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)
1	1:1.000.000	400	300	200	600	300	900,0	400
2	1:500.000	200	150	100	300	150	450,0	200
3	1:250.000	100	75	50	150	75	225,0	100
4	1:100.000	40	30	20	60	30	90,0	40
5	1:50.000	20	15	10	30	15	45,0	20
6	1:25.000	10	7,5	5	15	7,5	22,5	10
7	1:10.000	4	3	2	6	3	9,0	4
8	1:5.000	2	1,5	1	3	1,5	4,5	2
9	1:2.500	1	0,75	0,5	1,5	0,75	2,3	1
10	1:1.000	0,4	0,3	0,2	0,6	0,3	0,9	0,4

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan dan uji ketelitian *orthophoto* serta *Digital Elevation Model* (DEM) dari foto udara UAV, dapat disimpulkan bahwa jumlah dan distribusi *Ground Control Point* (GCP) berpengaruh signifikan terhadap kualitas geometrik produk fotogrametri.

Penggunaan 4 GCP menghasilkan nilai akurasi horizontal CE90 sebesar 1,2736 meter dan akurasi vertikal LE90 sebesar 5,5136 meter, yang memenuhi standar ketelitian peta RBI skala 1:25.000 kelas 2 sesuai PERKA BIG No. 6 Tahun 2018. Sementara itu, penggunaan 6 GCP meningkatkan ketelitian dengan nilai CE90 sebesar 1,0268 meter dan LE90 sebesar 4,1226 meter, sehingga memenuhi standar ketelitian peta RBI skala 1:25.000 kelas 1.

Secara visual, penambahan jumlah GCP juga memperbaiki kualitas *orthophoto* dan DEM, ditunjukkan oleh posisi objek yang lebih presisi serta representasi elevasi yang lebih halus dan

mendekati kondisi topografi sebenarnya. Penambahan GCP mampu mengurangi distorsi geometrik baik secara horizontal maupun vertikal.

Dengan demikian, penggunaan jumlah GCP yang lebih optimal dan terdistribusi merata sangat direkomendasikan dalam pemetaan UAV untuk menghasilkan produk geospasial yang memenuhi standar ketelitian nasional serta tetap mempertimbangkan efisiensi pekerjaan lapangandalam bentuk paragraf naratif, bukan dalam bentuk poin-poin atau daftar berbutir.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih kepada dosen dan pimpinan Program Studi Survei dan Pemetaan, Fakultas Teknik, Universitas Indo Global Mandiri, khususnya dosen pembimbing atas arahan dan bimbingannya. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi pengembangan pemetaan berbasis UAV.

7. REFERENCES

Al Amin, A.R., 2017. Optimasi Sebaran Titik Gcp Dan Icp Pada Proses Ortorektifikasi Citra Resolusi Tinggi Untuk Pembuatan Peta Skala 1:5.000 (Studi Kasus: 1 Scene Citra Pleiades 033 Lumajang). Tek. Geomatika Its 000, 1–96.

Andini, R.O., Arief, L.N., Hana, S.F., 2016. Penggunaan Parameter Orientasi Eksternal (Eo) Untuk Optimalisasi Digital Triangulasi Fotogrametri Untuk Keperluan Ortofoto. Geod. Undip 2, 240–252.

As Soma, M Nursaputra, S Rahmat, B Adriyanto, Mdr Ramadhan, M.M., 2024. Pedoman Praktis Penggunaan Alat Survei Dan Pemetaan Dalam Pembuatan Peta Kehutanan Tematik. Penerbit Nem.

Badan Informasi Geospasial, N.D. 2018-Peraturan Big Nomor 6 Tahun 2018.

Duantari, N., Cahyono, A.B., 2017. Analisis Perbandingan Dtm (Digital Terrain Model) Dari Lidar (Light Detection And Ranging) Dan Foto Udara Dalam Pembuatan Kontur Peta Rupa Bumi Indonesiafile:///D:/Kuliah/Semester 3/Praktikum Aerial Survei/Acara 7/Materi/Modul Teknik Fotogrametri.Pdf. J. Tek. Its 6.

Hasim, Z.A., Abdul Basyid, M., 2021. Kajian Perbandingan Digital Elevation Model (Dem) Uav Dengan Digital Elevation Model (Dem) Topografi (Studi Kasus: Pt. Torganda Kawasan Industri Lubuk Gaung Tanjung Penyembal-Sungai Sembilan Kota Dumai). Semin. Nas. Dan Disem. Tugas Akhir 2021.

I Putu Harianja Prayogo, Fabian J. Manoppo, L.I.R.L., 2020. Pemanfaatan Teknologi Unmanned Aerial Vehicle (Uav) Quadcopter Dalam Pemetaan Digital (Fotogrametri) Menggunakan Kerangka Ground Control Point (Gcp). Jurnal Ilmiah Media Engineering, 10(1), 47-58. Ilm. Media Eng. 10–1, 47–58.

Iqbal Yukha Nur Afani*), Bambang Darmo Yuwono, N.B., 2019. Optimalisasi Pembuatan Peta Kontur Skala Besar Menggunakan Kombinasi Data Pengukuran Terestris Dan Foto Udara Format Kecil. J. Geod. Undip 8. Https://Doi.Org/10.35445/Alishlah.V16i3.5359

Panjaitan, P.S., Supit, J.M., 2021. Data Foto Udara Untuk Pemanfaatannya Di Sektor Pertambagan. J. Penelit. Tambang 4, 121–125.

Sastra, A. R., Putri, D. N., & Veranika, A., 2023. Analisis Akurasi Ketelitian Vertikal Dem Foto Udara Pada Kawasan Permukiman (Studi Kasus: Kelurahan Sekip Jaya, Kecamatan Kemuning, Palembang). J. Tekno Glob. 12, 41–46. Https://Doi.Org/10.36982/Jtg.V12i01.3176

Syauqani, A.; Subiyanto, S.; Suprayogi, A., 2017. Jurnal Geodesi Undip Januari 2017 Unmanned Aerial Vehicle (Uav) Quadcopter Dji Phantom 3 Jurnal Geodesi Undip Januari 2017. Geod. Undip 6, 249–257.