

EVALUASI AKURASI PADA ORTOFOTO DAN *DIGITAL TERRAIN MODEL* (DTM) BERDASARKAN PENAMBAHAN PARSIAL FOTO UDARA

Fransisca Dwi Agustina ^{1*}, Martinus Edwin Tjahjadi ¹, Lalu Aji Suaprana ¹, Suzanna Nisna Septamawati ²

¹Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan-Institut Teknologi Nasional Malang

²Program Pascasarjana, Magister Teknik Sipil-Institut Teknologi Nasional Malang

e-mail : siscaagustina@lecturer.itn.ac.id

Abstrak. Teknologi *drone* telah menjadi salah satu teknologi populer yang dimanfaatkan untuk pemetaan topografi. Namun, hasil akurasi ortofoto dan *Digital Terrain Model* (DTM) perlu di kaji akurasinya, yang seringkali berpengaruh pada hasil resolusi foto. Dalam penelitian ini, dilakukan penambahan parsial foto udara yang diambil dari beberapa bagian wilayah tertentu untuk melengkapi dan meningkatkan detail serta akurasi data yang telah ada, seperti ortofoto dan DTM. Penambahan foto udara tersebut diharapkan dapat meningkatkan akurasi hasil pemetaan. Dengan menerapkan penambahan foto udara nantinya dapat memengaruhi dan meningkatkan akurasi pada ortofoto dan DTM. Metode evaluasi akurasi yaitu mencakup perbandingan visual dan analisis akurasi posisi menggunakan data pengukuran GPS dari titik kontrol. Pengujian akurasi dilakukan dengan menghitung *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk menilai ketepatan posisi pada ortofoto dan DTM. Maka, hasil ketelitian horizontal dan vertikal sesuai dengan standar *ASPRS* sebelum dan sesudah adanya penambahan parsial foto udara mendapatkan selisih 0.06 m dan 0.05 m RMSEr. Hasil ketelitian vertikal sebelum dan sesudah adanya penambahan parsial foto udara mempunyai selisih 0,0465 m dan 0,0461 m RMSEz. Berdasarkan hasil evaluasi akurasi pada ortofoto dan DTM dapat disimpulkan bahwa penambahan parsial foto udara dapat memengaruhi atau meningkatkan akurasi ortofoto dan DTM.

Kata Kunci: *ASPRS*; DTM; Ortofoto; Parsial Foto; *RMSEr*; *RMSEz*

Abstract. The use of technology using drones has become a popular technology that can be used for topographic mapping. However, the accuracy of the orthophoto and DTM results needs to be assessed, which often affects the photo resolution results. In this research, partial aerial photos were added from certain parts of certain areas to complement and improve the detail and accuracy of existing data, such as orthophotos and DTM. The addition of aerial photos is expected to increase the accuracy of mapping results. Implementing additional aerial photos can later influence and improve the accuracy of orthophotos and DTM. The accuracy evaluation method includes visual comparison and analysis of position accuracy using GPS measurement data from control points. Accuracy testing is carried out by calculating the *Root Mean Square Error* (RMSE) to assess the accuracy of the position on the orthophoto and DTM. So, the horizontal and vertical accuracy results by the *ASPRS* standard before and after the addition of partial aerial photos obtained a difference of 0.06 m and 0.05 m RMSEr. The vertical accuracy results before and after the addition of partial aerial photos have a difference of 0.0465 m and 0.0461 m RMSEz. Based on the results of evaluating the accuracy of orthophotos and DTM, it can be concluded that the addition of partial aerial photos can influence or improve the accuracy of orthophotos and DTM.

Keywords: *ASPRS*; DTM; Ortofoto; Partial Photos; *RMSEr*; *RMSEz*

PENDAHULUAN

Penggunaan teknologi pemetaan udara semakin populer dalam bidang survei topografi karena kemampuannya menghasilkan peta dan model permukaan bumi dengan tingkat akurasi dan resolusi yang tinggi. Produk utama dari teknologi ini adalah ortofoto dan *Digital Terrain Model (DTM)*. Ortofoto adalah citra udara yang telah dikoreksi secara geometris sehingga bebas dari distorsi perspektif dan topografi, sementara DTM adalah representasi digital dari permukaan tanah tanpa mempertimbangkan objek di atasnya seperti bangunan atau vegetasi (Putra et al., 2019).

Namun, akurasi ortofoto dan DTM sering dipengaruhi oleh keterbatasan resolusi citra satelit atau foto udara. Hal tersebut dapat menyebabkan ketidakakuratan dalam pengolahan yang bergantung pada data spasial yang tepat, seperti perencanaan tata ruang, manajemen sumber daya alam, dan mitigasi bencana. Untuk mengatasi masalah tersebut, penambahan parsial foto udara, yaitu penambahan foto udara tambahan yang diambil dari bagian-bagian tertentu wilayah studi, dapat meningkatkan akurasi dan resolusi ortofoto dan *DTM* (Meiarti et al., 2019).

DTM dihasilkan dari *Digital Surface Model (DSM)* dengan menghilangkan semua elemen permukaan seperti vegetasi dan bangunan. Proses ini membutuhkan algoritma yang kompleks dan teknik pemodelan yang canggih (Duantari & Cahyono, 2017). Evaluasi akurasi DTM memerlukan penilaian kualitas data yang dikumpulkan dari berbagai sumber, termasuk pemetaan udara, LiDAR, dan sonar. Faktor-faktor yang memengaruhi kualitas DTM mencakup resolusi spasial, tingkat kepadatan data, dan keakuratan pengukuran (Pellikka et al., 2012).

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan *drone* dalam pemetaan telah berkembang pesat. *Drone* sering digunakan untuk pemetaan karena efisiensinya dalam hal waktu, biaya, dan kualitas data (Bone & Pratama, 2021). Akuisisi dan pengolahan ortofoto adalah proses pembuatan peta atau model permukaan bumi yang akurat menggunakan foto udara. Dengan metode rektifikasi diferensial, foto perspektif diubah menjadi ortofoto yang bebas dari efek variasi topografi dan kemiringan sensor saat perekaman. Faktor-faktor seperti ketinggian terbang, jarak dari titik nadir, kelengkungan bumi, dan ketinggian memengaruhi pergeseran relief pada foto miring (Riadi et al., 2015).

Koreksi skala pada tiap titik koordinat dan pergeseran relief diperlukan untuk menghasilkan ortofoto menggunakan proses rektifikasi diferensial atau ortorektifikasi yang menghilangkan efek proyeksi perspektif pusat, kemiringan kamera, dan relief medan (Mardiya, 2017). Proses awal fotogrametri menghasilkan *DSM* yang masih mengandung vegetasi dan struktur lainnya, sehingga diperlukan proses *filtering* menggunakan perangkat lunak seperti *PCI Geomatica 2014* (Kerong et al., 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk menguji akurasi ortofoto dan DTM setelah penambahan foto udara. Akurasi posisi diukur dengan membandingkan selisih koordinat X, Y, dan Z pada ortofoto dan *DTM* terhadap titik kontrol dari hasil pengukuran GPS. Analisis akurasi posisi dilakukan menggunakan metode *Root Mean Square Error (RMSE)*, yang merupakan ukuran statistik yang sering digunakan untuk menilai ketepatan model spasial (Riadi et al., 2015). Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan akurasi ortofoto dan DTM melalui penambahan parsial foto udara, serta memberikan dasar untuk penggunaan teknologi *drone* pada bidang pemetaan topografi yang lebih akurat.

METODOLOGI

Pada penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi bagaimana penambahan parsial foto udara dapat memengaruhi akurasi ortofoto dan DTM. Penambahan parsial foto udara yaitu menggunakan data tambahan dari area/ wilayah tertentu untuk memperbaiki detail dan mengurangi kesalahan dalam pemodelan. Metode ini diharapkan dapat meningkatkan ketelitian hasil pemetaan, terutama pada area yang sulit dijangkau atau memiliki variasi topografi yang lebih detail.

Penelitian sebelumnya oleh Murdohardono et al. (2016) menerangkan bahwa penambahan data foto udara dapat meningkatkan presisi dan akurasi dalam pemetaan. Studi tersebut menggunakan metode perbandingan visual dan pemodelan DTM dari foto udara, dan menemukan bahwa penambahan data ini dapat

memerbaiki resolusi spasial, mengurangi efek bayangan, dan mengurangi distorsi pada hasil pemrosesan. Namun, penelitian tersebut juga menerangkan bahwa akurasi ortofoto dan DTM dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti tinggi terbang *drone*, resolusi kamera, dan distribusi titik kontrol tanah.

Dalam penelitian ini, mengimplementasikan dan menguji metode penambahan parsial foto udara pada ortofoto dan DTM. Data diperoleh dari hasil pemotretan foto udara, dengan pemasangan titik kontrol tanah yang tersebar merata di area penelitian. Tujuan akhir dari penelitian ini adalah untuk memberikan hasil evaluasi dalam penggunaan foto udara parsial untuk meningkatkan akurasi ortofoto dan DTM.

Lokasi penelitian ini terletak pada daerah sekitar Jembatan Tunggulmas, Kelurahan Tlogomas, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang Jawa Timur secara geografis terletak pada $-7^{\circ}55'32,722''\text{LS}$, $112^{\circ}.36'7.859''\text{BT}$ (Gambar 1). Garis yang berwarna merah adalah lokasi penelitian ini.



Gambar 1. Area Lokasi Penelitian

Tabel 1. Unsur Pendukung Gambar dan Tabel (Sumber : Agustina, 2022)

Parameter Spesifikasi	Nilai
Panjang Fokus (mm)	8,8
Resolusi Maksimum (piksel)	5472 x 648
Ukuran Sensor (mm)	13,2 x 8,8
Ukuran Piksel (mm)	0,0024

Persiapan dan Pengambilan Data GPS

Sebelum melakukan pengumpulan data, persiapan harus mencakup terkait dengan penentuan jumlah sebaran *GCP* (*Ground Control Point*). Hal tersebut meliputi sudut, perimeter, dan pemilihan area kerja yang memiliki persebaran titik *GCP* di seluruh wilayah studi, (BIG, 2020). Pada tahapan pengambilan data GPS dilakukan pengukuran survei GPS menggunakan metode statik radial dengan waktu pengamatan GPS selama 60 menit untuk setiap *GCP* (Kurniawan et al., 2015). Menurut Wolf dan Dewitt (2000), *Ground Control Point* (*GCP*) merupakan titik referensi pada permukaan bumi yang digunakan dalam survei fotogrametri dan pemetaan, dengan posisi yang ditentukan secara presisi melalui pengukuran menggunakan teknologi GPS atau GNSS.

Di sisi lain, *Identification Control Point* (*ICP*) lebih berfungsi sebagai titik identifikasi visual pada foto atau model, seperti sudut bangunan atau fitur lainnya. Wolf dan Dewitt (2000) menerangkan bahwa *ICP* sering digunakan untuk validasi dan verifikasi akurasi geometris pada foto, dan tingkat presisi *ICP* lebih rendah dibandingkan *GCP* dalam hal penentuan posisi absolut.



Gambar 2. Persebaran GCP dan ICP

Pada penelitian ini jumlah titik ICP ditentukan berdasarkan standar ASPRS tahun 2015. Menurut standar tersebut, jumlah ICP disesuaikan dengan luas area penelitian. Dalam studi kasus ini, luas area sekitar 20 hektar. Metode *Real Time Kinematic* (RTK) digunakan untuk pengambilan data titik ICP dengan melakukan pengamatan 5 kali *fixed* pada setiap titik pengamatan ICP selama 5 detik per pengamatan.

Persiapan dan Pengambilan Data Foto termasuk Foto Parsial dilakukan sesuai dengan Pedoman Besar No. 1 Tahun 2020 (BIG, 2020), *Area of Interest* (AOI) harus ditentukan dan jalur penerbangan disesuaikan dengan topografi AOI. *Front overlap* harus kurang dari 75%, (*side overlap*) kurang dari 65%, dan *Ground Sampling Distance* (GSD) dihitung sesuai dengan standar tersebut. Posisi *base station* harus berada di area terbuka dengan target GSD kurang dari 5 cm (BIG, 2020).

Setelah semua persiapan selesai, tahapan berikutnya yaitu pemotretan foto udara dengan *Drone* DJI Phantom 4 Pro menghasilkan 1.531 foto utama dan 246 foto tambahan. Analisis uji akurasi *DTM* dilakukan pada titik koordinat ICP sebelum dan setelah penambahan foto. Keakuratan prediksi model dapat diukur menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE). RMSE adalah nilai rata-rata dari akar kuadrat perbedaan antara nilai yang diharapkan dan nilai yang diamati. Selain itu, RMSE menunjukkan tingkat kesalahan yang dihasilkan oleh model prediksi. Persamaan 1, 2, dan 3 digunakan untuk menghitung nilai RMSE (Putra & Choanji, 2016):

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum(x_{data,i} - x_{cek,i})^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum(y_{data,i} - y_{cek,i})^2}{n}} \quad (2)$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum(z_{data,i} - z_{cek,i})^2}{n}} \quad (3)$$

Tabel 2. Standar Akurasi Horizontal untuk Data Geospasial (ASPRS, 2015)

Kelas akurasi horizontal	Akurasi mutlak			
	RMSE _x dan RMSE _y (cm)	RMSE _r (cm)	Akurasi horizontal pada tingkat kepercayaan 95%	Ketidakcocokan citra ortho mosaik (cm)
X-cm	≤X	≤1.414*X	≤1.7308*X	≤2*X

Tabel 3. Akurasi Horizontal/ Contoh Kualitas untuk Data Geospasial (ASPRS, 2015)

Skala Peta	Perkiraan Sumber Gambar GSD	Kelas Akurasi Data Horizontal	RMSE _x \ RMSE _y (cm)	RMSE _r (cm)	Akurasi horizontal pada tingkat kepercayaan 95% (cm)
1:100	1-2 cm	I	1.3	1.8	3.1
		II	2.5	3.5	6.1
		III	3.8	5.3	9.2
1:200	2-3 cm	I	2.5	3.5	6.1
		II	5.0	7.1	12.2
		III	7.5	10.6	18.4

Tabel 4. Standar Akurasi Vertikal untuk Data Elevasi Digital (ASPRS, 2015)

Kelas akurasi data vertikal	RMSE _z di medan non-vegetasi (cm)	Akurasi vertikal non-vegetasi pada tingkat kepercayaan 95% (cm)	Akurasi vertikal bervegetasi (VVA) pada tingkat kepercayaan 95% (cm)	Petak akurasi relatif di mean yang non-vegetasi (RMSE _d /perbedaan maks) (cm)
I	1.0	2.0	2.9	0.8/1.6
II	2.5	4.9	7.4	2.0/4.0
III	5.0	9.8	14.7	4.0/8.0
IV	10.0	19.6	29.4	8.0/16.0
V	12.5	24.5	36.8	10.0/20.0
VI	20.0	39.2	58.8	16.0/32.0
VII	33.3	65.3	98.0	26.7/53.3

Tabel 5. Akurasi Vertikal / Contoh Kualitas untuk Data Elevasi Digital (ASPRS, 2015)

Kelas akurasi vertikal	Akurasi Mutlak			Akurasi relatif (jika ada)		
	RMSE _z non-vegetasi (cm)	NVA pada tingkat kepercayaan 95% (cm)	VVA pada tingkat kepercayaan 95% (cm)	Didalam petak pengulangan yang keras (perbedaan maks) (cm)	Petak-petak medan non-vegetasi (RMSE _d) (cm)	Petak-petak medan non-vegetasi (perbedaan maks) (cm)
X-cm	≤X	≤1.96*X	≤3.00*X	≤0.60*X	≤0.80*X	≤1.60*X

Root mean square error x disebut $RMSE_x$; $RMSE_y$ adalah kesalahan akar kuadrat rata-rata y ; Root mean square error z adalah ($RMSE_z$); Koordinat posisi titik pertama pada kumpulan data adalah x data i , y data i , dan z data i ; x centang i , y centang i , dan z centang i adalah arah posisi titik pertama pada informasi posisi yang ditunjuk; total titik cek yang diuji adalah n ; Persamaan (4) dan (5) digunakan untuk menentukan nilai $RMSE$ komponen horizontal, di mana i adalah bilangan bulat mulai dari 1 sampai n .

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{\sum(x_{data,i} - x_{cek,i})^2 + (y_{data,i} - y_{cek,i})^2}{n}} \quad (4)$$

$$RMSE_r = \sqrt{(RMSE_x)^2 + (RMSE_y)^2} \quad (5)$$

$RMSE$ dapat ditentukan menggunakan persamaan 6 dan persamaan 7, pada tingkat nilai kepercayaan 95%.

$$RMSE_r = 1.7308 * RMSE_r \quad (6)$$

$$RMSE_z = 1.9600 * RMSE_z \quad (7)$$

Hasil perhitungan *RMSE* dengan tingkat kepercayaan 95% sesuai dengan karakteristik informasi geospasial yang terdapat pada Tabel 3 dan karakteristik informasi ketinggian atau presisi vertikal yang terdapat pada Tabel 5, mengikuti standar *ASPRS* untuk ketelitian dan skala peta (*ASPRS*, 2015). Selain membandingkan akurasi *DTM* dengan *ICP*, perhitungan *RMSE* ini juga digunakan untuk mengidentifikasi *DTM* dengan nilai *RMSE* terendah. Analisis ini berfokus pada presisi vertikal (*RMSEz*). *DTM* dengan nilai *RMSEz* terkecil dianggap memiliki tingkat akurasi dan presisi yang tinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada data hasil survey GPS tersebut diolah menggunakan program pengolahan data GPS, untuk menghasilkan estimasi yang lebih akurat dan sesuai dengan kondisi nyata di lapangan. Tabel 6 menunjukkan hasil pemrosesan data GCP. Metode RTK juga menghasilkan 9 data titik koordinat *ICP* selama pengambilan data menggunakan GPS. Data koordinat *ICP* kemudian ditentukan berdasarkan rata-rata dan standar deviasi, seperti yang ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 6. Hasil Pengolahan Data GCP

Point	X (m)	Y (m)	Z (m)	σX (m)	σY (m)	σZ (m)
GCP 5	676704.9665	9123729.38711	515.490009	-0.005303	0.003423	-0.000645
GCP 6	676723.2781	9123624.54030	508.424894	-0.002997	0.007289	-0.001172
GCP 7	676668.4506	9123623.25512	503.733508	-0.002555	-0.001180	0.000697
Total (m)				0.00953200	-0.0011200	0.0095310
Akurasi (X,Y,Z) (m)				0.00598100		

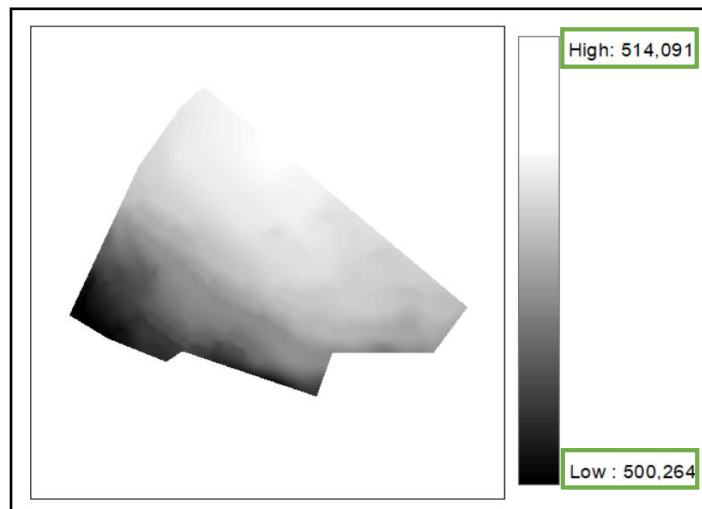
Tabel 7. Hasil Pengolahan Data ICP

Point	X (m)	Y (m)	Z (m)	σX (m)	σY (m)	σZ (m)
A_06	676744.5257	9123671.6763	513.3351	0.012	-0.011	-0.0010
B_05	676783.7919	9123616.8982	509.7265	-0.0009	-0.0009	0.0010
D_02	676694.7088	9123617.8691	507.8475	0.0001	0.0023	-0.0011
ICPK_1	676676.3664	9123687.0952	513.1731	0.0002	-0.0006	-0.0007
...						
ICPK_6	676718.7196	9123654.0085	512.5121	-0.0014	-0.0001	0.0003
Total (m)				0.0071	-0.0106	-0.0005
Akurasi (X,Y,Z) (m)				-0.00133		

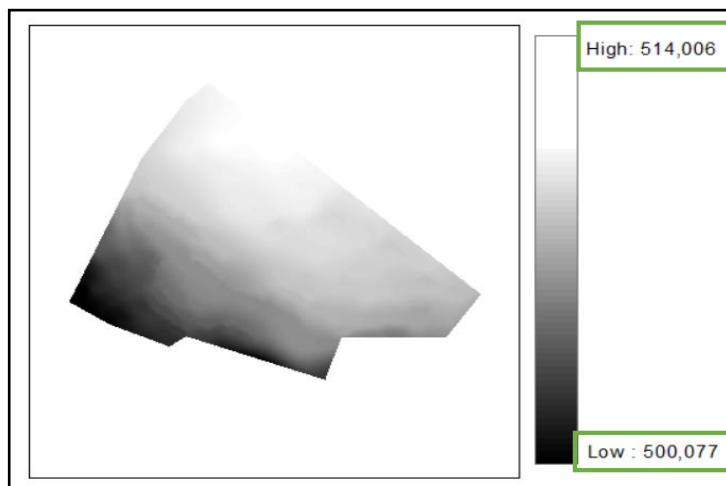
Hasil dari pengolahan foto udara, yang melibatkan pemrosesan 1.531 foto, melalui proses orthorektifikasi, menghasilkan ortofoto dan DSM yang menampilkan posisi serta objek di area studi (Gambar 3a), serta informasi mengenai ketinggian vegetasi dan non-vegetasi (Gambar 3). Setelah data DSM dan ortofoto dikumpulkan, dilakukan analisis akurasi horizontal (akurasi ortofoto) dan vertikal (akurasi DSM). Berdasarkan standar *ASPRS* (2015), analisis ini mencakup perhitungan *RMSE* horizontal dan vertikal untuk menentukan tingkat akurasi horizontal dan vertikal. Penambahan parsial foto dalam proses pembuatan ortofoto dan *DTM* memiliki dampak signifikan terhadap akurasi hasil akhir.



Gambar 3. (a) Ortofoto Sebelum Penambahan Foto ; (b) Ortofoto Sesudah Penambahan Parsial Foto



Gambar 4. DTM Sebelum Adanya Penambahan Parsial Foto Udara



Gambar 5. DTM Sesudah Adanya Penambahan Parsial Foto Udara

Perbedaan atau kesalahan antara posisi objek pada ortofoto dengan posisi sebenarnya (ICP) dapat menentukan akurasi horizontal. Pada 9 titik ICP yang terlihat ditandai pada proses digitalisasi. Selisih antara koordinat x dan y dari 9 ICP yang diukur menggunakan GPS dan nilai koordinat x dan y pada ortofoto yang telah ditandai dihitung sebagai bagian dari analisis. Hasil perhitungan ini ditampilkan pada Tabel 8 (hasil analisis sebelum penambahan foto) dan Tabel 9 (hasil analisis setelah penambahan foto). Nilai Akurasi Horizontal NSSDA dengan tingkat kepercayaan 95% adalah 0,059156 m (5,9156 cm) berdasarkan hasil perhitungan akurasi horizontal sebelum penambahan foto.

Hal tersebut menunjukkan bahwa akurasi horizontal memenuhi standar ASPRS 2015 yang tertera pada Tabel 3 pada tingkat kepercayaan 95%, dengan akurasi skala peta 1:100. Nilai Akurasi Horizontal NSSDA dengan tingkat kepercayaan 95% adalah 0,051585 m (5,1585 cm) berdasarkan hasil perhitungan akurasi horizontal foto udara parsial. Hal tersebut menunjukkan bahwa ketelitian horizontal pada tingkat kepercayaan 95% sesuai dengan standar ASPRS 2015 yang tertera pada Tabel 3, dengan ketelitian skala peta 1:100.

Tabel 8. Hasil Perhitungan RMSE Horizontal Sebelum Penambahan Foto

Point ICP	Koordinat ICP		Koordinat Ortofoto		Residual Errors	
	X	Y	X	Y	Δx^2	Δy^2
A-06	676744,5257	9123671,6763	676744,5262	9123671,6760	0,000494	-0,000332
B-05	676783,7919	9123616,8982	676783,7896	9123616,8974	-0,002254	-0,000818
D-02	676694,7088	9123617,8691	676694,7093	9123617,8684	0,000456	-0,000643
...
ICPK_6	676718,7196	9123654,0085	676718,7189	9123654,0080	-0,000622	-0,000419
Number Check Point					9	9
Total (m)					-0,000530889	-0,000266556
RMSE _x (m)					0,00099617	
RMSE _y (m)					0,000523508	
RMSE _r (m)					0,038983037	
NSSDA Horizontal Accuracy 95% Confidence Level (m)					0,059156759	

Tabel 9. Hasil Perhitungan RMSE Horizontal Parsial Foto

Point ICP	Koordinat ICP		Koordinat Ortofoto		Residual Errors	
	X	Y	X	Y	Δx^2	Δy^2
A-06	676744,5256	9123671,6763	676744,5251	9123671,6769	-0,000451	0,0006
B-05	676783,7918	9123616,8982	676783,7915	9123616,8983	-0,000265	0,000089
D-02	676694,7088	9123617,8691	676694,7088	9123617,8697	-0,00004	0,000639
...
ICPK_6	676718,7195	9123654,0085	676718,7191	9123654,0081	-0,000397	-0,000327
Number Check Point					9	9
Total (m)					-0,000145333	-0,000207333
RMSE _x (m)					0,000330033	
RMSE _y (m)					0,000558265	
RMSE _r (m)					0,029804319	
NSSDA Horizontal Accuracy 95% Confidence Level (m)					0,051585315	

Hasil analisis ketelitian vertikal (ketelitian *DSM*) memvisualisasikan bahwa ketepatan vertikal diperoleh dengan membandingkan perbedaan antara nilai tinggi sebenarnya (ICP) dengan nilai elevasi objek pada (*DSM*). Perbedaan ketinggian dari 9 titik ICP yang diukur menggunakan GPS dibandingkan dengan nilai ketinggian atau koordinat z pada *DSM*, yang telah diproses merupakan bagian dari analisis. Hasil perhitungan *RMSE* dapat dilihat pada Tabel 10 sebelum penambahan foto, dan Tabel 11 setelah penambahan foto parsial.

Nilai akurasi vertikal NSSDA dengan tingkat kepercayaan 95% yaitu 0,04649 m (4,649 cm) berdasarkan analisis sebelum penambahan foto parsial. Hal tersebut menunjukkan bahwa presisi pada tingkat kepercayaan 95% sesuai dengan standar ASPRS (2015) untuk kelas ketelitian vertikal II. Setelah penambahan foto parsial, nilai akurasi vertikal NSSDA dengan tingkat kepercayaan 95% adalah 0,046127 m (4,6127 cm). Hasil tersebut menunjukkan bahwa akurasi vertikal tetap memenuhi standar ASPRS (2015) pada tingkat kepercayaan 95%, untuk kelas akurasi vertikal II.

Tabel 10. Hasil Perhitungan RMSE Vertikal Sebelum Adanya Penambahan Foto

Point ICP	Koordinat ICP	Koordinat DTM	Residual Errors
	Z	Z	Δz^2
A-06	513,3351	513,3357	0,000575
B-05	509,7265	509,7274	0,000835
D-02	507,8475	507,8476	0,000104
...
ICPK_6	512,5121	512,5121	-0,000063
Number of check point			9
Total (m)			2,41111E-05
RMSEz (m)			0,023719832
NSSDA Vertical Accuracy 95% Confidence Level (m)			0,046490871

Tabel 11. Hasil Perhitungan RMSE Vertikal Sesudah Adanya Penambahan Parsial Foto

Point ICP	Koordinat ICP	Koordinat DTM	Residual Errors
	Z	Z	Δz^2
A-06	513,3351	513,3352	0,000059
B-05	509,7665	509,7661	-0,000395
D-02	507,8475	507,8478	0,000291
...
ICPK_6	512,5121	512,5120	-0,000133
Number of check point			9
Total (m)			0,0002091
RMSEz (m)			0,023534482
NSSDA Vertical Accuracy 95% Confidence Level (m)			0,046127584

Berdasarkan analisis ketelitian vertikal, terdapat perbedaan dalam selisih elevasi dan RMSEz antara Tabel 10 dan Tabel 11. Kesimpulannya, DTM yang diproses setelah penambahan foto parsial menunjukkan tingkat ketelitian dan akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan DTM yang diproses sebelum penambahan foto. Hal tersebut terlihat dari elevasi yang lebih rendah pada DTM setelah penambahan foto.

PENUTUP

Simpulan dan Saran

Berdasarkan penambahan parsial foto dalam proses pembuatan ortofoto dan *DTM*, terlihat adanya pengaruh signifikan terhadap akurasi hasil akhir. Evaluasi menunjukkan bahwa penggunaan parsial foto udara secara signifikan dapat meningkatkan akurasi geometrik ortofoto, serta mengurangi distorsi dan kesalahan geometrik akibat pergeseran perspektif. Hal ini dibuktikan oleh hasil analisis ketelitian horizontal sebelum dan sesudah penambahan parsial foto udara, yang memiliki selisih RMSEr 0,01m, yaitu dari 0.06 m menjadi 0.05 m. Sedangkan dalam analisis perbandingan ketelitian *DTM*, ketelitian vertikal memiliki selisih RMSEz 0,0004 m, yaitu dari 0,0465 m menjadi 0,0461.

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh pada penelitian ini, terdapat beberapa saran dari penulis untuk peneliti selanjutnya yang akan mengangkat topik yang sama, yaitu :

1. Pada pengujian di berbagai kondisi sebaiknya dilakukan di berbagai kondisi geografis yang berbeda guna memastikan hasil yang konsistens.
2. Mengembangkan dan mengoptimalkan algoritma pengolahan foto yang dapat lebih efektif untuk memperbaiki distorsi dan kesalahan geometrik untuk berbagai jenis foto udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, F. D. (2022). *UJI LENDUT DEFORMASI JEMBATAN DENGAN TEKNIK PEMOTRETAN KONVERGEN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI DRONE*. *Jurnal Geosaintek*, 8(1), 161-172. 8(1), 161–172.
- ASPRS. (2015). Accuracy Standards for Digital Geospatial Data (ASPRS). *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, March, 1073–1085.
- BIG. (2020). *Peraturan Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2020 Tentang Standar Pengumpulan Data Geospasial Dasar Untuk Pembuatan Peta Dasar Skala Besar*. 69(555), 1–53.
- Bone, B. P. K., & Pratama, M. R. (2021). EVALUASI LUAS PROGRES KEGIATAN REHABILITASI HUTAN DAN LAHAN MENGGUNAKAN CITRA DRONE DI. *Digilibadmin.Unismuh.Ac.Id*.
- Duantari,N., & Cahyono, B. A. (2017). *Analisis Perbandingan DTM (Digital Terrain Model) dari LIDAR (Light Detection and Ranging) dan foto udara dalam pembuatan kontur peta rupa bumi Indonesia*. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), A699-A703.
- Kerong, R. G. D., Tjahjadi, M. E., & Agustina, F. D. (2022). Kajian Perbandingan Akurasi *DTM* Pengolahan Data Foto Udara Menggunakan Metode Otomatis Dan Semi-Otomatis Filtering. *Jambura Geoscience Review*, 4(1), 69–85.
- Kurniawan, A., Taufik, M., & Yudha, I. S. (2015). PENGARUH JUMLAH DAN SEBARAN GCP PADA PROSES REKTIFIKASI CITRA WORLDVIEW II (Studi Kasus: Kota Kediri, Jawa Timur). *Geoid*, 11(1), 67.
- Mardiya, C. (2017). (2017). *TEKNIK PEMBUATAN ORTHOPHOTO DARI PENGGABUNGAN FOTO TEGAK DAN FOTO MIRING (Doctoral dissertation, ITN MALANG)*. 2015.
- Meiarti, R., Seto, T., & Sartohadi, J. (2019). Uji Akurasi Hasil Teknologi Pesawat Udara Tanpa Awak (Unmanned Aerial Vehicle) Dalam Aplikasi Pemetaan Kebencanaan Kepesisiran. *Jurnal Geografi, Edukasi Dan Lingkungan (JGEL)*, 3(1), 1.
- Murdohardono. A. M. I. I., Santoso. H., Prasetyo. T. (2016). Analisis Dampak Penambahan Foto Udara pada Presisi dan Akurasi Pemetaan Bawah Permukaan Air Tanah. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi*.
- Pellikka. R, Zabihi, A. (2012). Quality Assessment of Digital Terrain Models Derived from Different Data Sources. *Remote Sensing.ac.id*
- Putra, D. B. E., & Choanji, T. (2016). Preliminary Analysis of Slope Stability in Kuok and Surrounding Areas. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 1(1), 41–44.
- Putra, K., Wardana, W., Subiyanto, S., & Ah, H. ?. (2019). ANALISIS TINGGI TANAMAN PADI MENGGUNAKAN MODEL 3D HASIL PEMOTRETAN UAV DENGAN PENGUKURAN LAPANGAN.*Ejournal3.Undip.Ac.Id*,8.
- Riadi, S., Tjahjadi, M. E., & Purwanto, H. (2015). *Pembuatan Peta Topografi Skala Besar Secara*

Fotogrametris Dengan Memanfaatkan Foto Udara UAV Kamera Non-Metrik.

Wolf, 2000 dalam Khan M. Habil Yusuf. 2019. Analisis Perbandingan 3d Modelling Hasil UAV Dengan Software Agisoft Dan Pix4d Menggunakan Metode Fotogrameri Jarak Dekat. Geodesi ITN Malang. Institut Teknologi Nasional Malang: Malang.
