

KAJIAN KETELITIAN PLANIMETRIK DAN GEOMETRIK PETA FOTO UDARA DENGAN VARIASI TINGGI TERBANG UAV

Ulul Abshor Abdalla¹, Citra Dewi², Rahma Anisa³

¹²³Universitas Lampung ; Jl. Prof. Dr. Soematri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145
Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika FT – UNILA
Abshorabdalla27@gmail.com

(Diterima 2 Oktober 2024, Disetujui 2 Juni 2025)

Abstrak

Teknologi UAV memberikan efisiensi waktu dan akurasi tinggi dalam bidang survei dan pemetaan. UAV dapat mengambil data dengan cepat dan mencakup area luas, menjadikannya alat yang efektif untuk menghasilkan peta foto udara. Variasi ketinggian terbang dapat memengaruhi kualitas peta, karena pada ketinggian tertentu peluang distorsi semakin besar akibat objek yang jauh dari titik pusat citra. Penelitian ini mengkaji pengaruh variasi ketinggian terbang UAV (75 dan 150 meter) terhadap ketelitian planimetrik (jarak dan luas) serta geometrik peta foto udara. Penelitian ini dilakukan di Desa Kebagusan, Kecamatan Gedong Tataan, Pesawaran. Data yang digunakan berupa peta foto udara dengan ketinggian terbang UAV 75 dan 150 meter serta titik koordinat yang diambil di lapangan. Pengujian ketelitian planimetrik jarak menggunakan 13 sampel sisi tepi batas bidang tanah, sedangkan ketelitian planimetrik luas menggunakan sebidang tanah. Uji ketelitian geometrik menggunakan 13 titik ICP. Ketiga uji tersebut dilakukan berdasarkan nilai RMSe, $0,5 \sqrt{\text{Luas}}$, dan CE90 sesuai pedoman PMNA Nomor 3 Tahun 1997 dan Perka BIG Nomor 6 Tahun 2018. Hasil menunjukkan pada ketinggian terbang 75 meter, ketelitian planimetrik jarak rata-rata adalah 0,24 meter, sedangkan pada 150 meter menurun menjadi 0,35 meter. Ketelitian planimetrik luas memiliki selisih 2 meter persegi pada ketinggian 75 meter dan 4 meter persegi pada 150 meter. Ketelitian geometrik mencapai 0,78 meter pada ketinggian 75 meter dan 0,93 meter pada 150 meter. Ketinggian terbang 75 meter menghasilkan ketelitian planimetrik (jarak dan luas) serta ketelitian geometrik yang lebih tinggi daripada 150 meter, sedangkan ketinggian 150 meter memberikan cakupan area yang lebih luas.

Kata kunci: Fotogrametri, ketelitian geometrik, ketelitian planimetrik, ketinggian terbang, UAV

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang pesat telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai bidang, termasuk survei dan pemetaan. Salah satu inovasi yang sangat penting dalam pemetaan modern adalah penggunaan *Unmanned Aerial Vehicle*. Awalnya, UAV lebih dikenal dalam dunia fotografi untuk pengambilan gambar dari udara, namun saat ini penggunaannya telah berkembang menjadi alat utama dalam survei dan pemetaan melalui teknik fotogrametri. Teknologi UAV ini menawarkan berbagai keunggulan. Salah satu keunggulan utama UAV adalah kemampuannya terbang di bawah lapisan awan, memungkinkan pengambilan citra yang lebih detail dan tajam dibandingkan citra satelit[1].

UAV menghasilkan peta foto udara yang akurat untuk berbagai aplikasi seperti perencanaan tata ruang dan pemantauan lingkungan. *Ground Control Points* (GCP) meningkatkan ketelitian peta dengan memperbaiki kesalahan koordinat.

Namun, meskipun UAV sangat berguna, tantangan tetap ada, terutama terkait distorsi geometrik akibat proyeksi sentral kamera. Proyeksi ini menyebabkan distorsi perspektif, khususnya di bagian tepi gambar, yang bisa mengakibatkan pergeseran posisi objek pada peta. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan proses ortorektifikasi, yaitu transformasi citra dari proyeksi sentral menjadi proyeksi orthogonal, yang secara signifikan mengurangi distorsi perspektif dan meningkatkan ketelitian geometrik peta.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa ketinggian terbang UAV mempengaruhi ketelitian geometrik peta foto udara. Sebagai contoh, ketinggian terbang yang lebih rendah, seperti 75 meter, menghasilkan distorsi perspektif yang lebih besar namun dengan resolusi spasial yang lebih baik. Sementara itu, ketinggian terbang yang lebih tinggi, seperti 150 meter, mengurangi distorsi tetapi juga mengurangi resolusi. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 90 Tahun 2015, penerbangan UAV di atas 150 meter memerlukan izin khusus, sehingga pemilihan ketinggian terbang 75 meter dan 150 meter menjadi relevan untuk memastikan kepatuhan terhadap regulasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi ketinggian terbang terhadap ketelitian planimetrik jarak dan luas serta ketelitian geometrik peta foto udara yang dihasilkan. Selain itu, penelitian ini juga akan mengevaluasi efektivitas proses ortorektifikasi dalam meningkatkan akurasi peta serta peran GCP dalam memperbaiki ketelitian koordinat hasil pemetaan. Dengan pemahaman lebih lanjut mengenai dampak ketinggian terbang dan teknik koreksi seperti ortorektifikasi, diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan teknologi pemetaan yang lebih akurat dan efisien.

TINJAUAN PUSTAKA

Fotogrametri

Fotogrametri atau *aerial surveying* adalah teknik pemetaan melalui foto udara. Hasil pemetaan secara fotogrametrik berupa peta foto dan tidak dapat langsung dijadikan dasar atau lampiran penerbitan peta.

Fotogrametri, atau *aerial surveying*, adalah teknik pemetaan yang menggunakan foto udara untuk berbagai kegiatan perencanaan dan desain, seperti jalan raya, rel kereta api, jembatan, jalur pipa, tanggul, jaringan listrik, telepon, bendungan, pelabuhan, dan pembangunan perkotaan.[2]

Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

UAV, atau *drone*, adalah wahana udara tanpa awak yang terbang menggunakan prinsip aerodinamika dan dikendalikan secara otonom atau melalui radio kontrol.

UAV digunakan dalam militer dan sipil untuk berbagai misi, dengan kemampuan membawa payload sesuai kebutuhan. Dalam fotogrametri, UAV dapat dioperasikan secara semi-otomatis atau otomatis oleh pilot jarak jauh. Dikenal untuk pengukuran skala kecil dan besar, UAV ini dilengkapi dengan sistem kamera biasa, video, *thermal*, inframerah, dan LIDAR, atau kombinasi dari ketiganya. UAV *modern* juga memungkinkan pendaftaran dan pelacakan posisi serta orientasi sensor dalam koordinat lokal atau global, menjadikannya alat pengukuran fotogrametri mutakhir[3].

Ground Control Point

GCP merupakan titik yang telah diketahui koordinatnya yang digunakan sebagai referensi kerangka horizontal (x,y) dan kerangka vertikal (z). Data GCP didapat dari survei lapangan dengan menggunakan pengukuran GNSS [4].

GCP memiliki peran yang penting untuk melakukan georeferensi yang mana proses ini adalah mengaitkan piksel-piksel dalam foto udara atau citra dengan koordinat geografis sebenarnya di lapangan

Independent Check Point

Adalah titik-titik yang posisinya diketahui dengan sangat akurat di lapangan, namun tidak digunakan dalam proses kalibrasi atau georeferensi foto udara atau citra satelit.

Foto Udara

Foto udara adalah citra yang direkam dari udara menggunakan pesawat terbang dan kamera pada ketinggian tertentu. Terdapat dua jenis foto udara: foto tegak dan foto miring. Foto tegak diambil dengan sumbu kamera tegak lurus terhadap permukaan bumi, sedangkan foto miring diambil dengan sumbu kamera dalam posisi miring. Untuk keperluan pemetaan, jenis foto udara yang digunakan adalah foto udara tegak [5].

Georeferensi

Georeferensi adalah proses mengaitkan piksel dalam foto udara dengan koordinat geografis di lapangan, bertujuan untuk memastikan peta foto udara yang dihasilkan memiliki koordinat yang akurat

Orthorektifikasi

Orthorektifikasi adalah proses pemrosesan citra udara atau satelit untuk

menghilangkan distorsi geometris akibat topografi dan perspektif sensor. Proses ini menghasilkan citra dengan representasi geometris yang akurat, di mana jarak, area, dan bentuk objek sesuai dengan kondisi sebenarnya di permukaan bumi. Output dari orthorektifikasi adalah peta foto udara yang telah terkoreksi, memungkinkan analisis yang lebih tepat.

Orthophoto

adalah gabungan dari dua atau lebih foto udara yang bertampalan, membentuk citra berkesinambungan yang menampilkan daerah yang luas.

Orthophoto adalah foto yang telah dikoreksi dari distorsi kemiringan, relief, dan lensa, sehingga objek sesuai dengan proyeksi orthogonal. Dibuat menggunakan foto *stereomodel* yang diperbaiki bertahap melalui rektifikasi diferensial, hasilnya adalah representasi geometris yang akurat [5]

Peta Foto Udara

Peta foto udara merupakan peta yang dihasilkan dari foto-foto yang diambil dari udara, menggunakan pesawat, helikopter, dan UAV.

Foto udara diproses menggunakan fotogrametri untuk koreksi geometrik dan digabungkan menjadi peta utuh. Dilengkapi *Ground Control Points* (GCP), peta ini sangat akurat dan bermanfaat untuk analisis spasial, pemantauan lahan, serta perencanaan..

Root Mean Square error (RMSe)

RMSE digunakan untuk menghitung perbedaan antara nilai yang diprediksi dan nilai sebenarnya dalam suatu model atau sistem pengukuran. RMSe dihitung dengan mengambil akar kuadrat dari rata-rata kuadrat semua kesalahan antara nilai yang diprediksi dan yang sebenarnya.

RMSe digunakan sebagai indikator akurasi ketelitian planimetrik jarak, luas, dan geometrik horizontal. Saat melakukan koreksi geometrik foto udara dengan GCP, RMSe dihitung untuk mengetahui tingkat akurasi koreksi. Penghitungan RMSE ini memastikan hasil pengukuran sesuai dengan koordinat sebenarnya. Rumus RMSe digunakan untuk menentukan ketelitian planimetrik dan geometrik horizontal.

$$RMSE = \sqrt{RMSx^2 + RMSy^2} \quad (1)$$

Dimana $RMSx$ = Pergeseran titik koordinat arah X dan $RMSy$ = Pergeseran titik koordinat arah Y

Ketelitian Planimetrik Jarak

Ketelitian planimetrik jarak mengukur akurasi pengukuran jarak pada peta dibandingkan dengan jarak sebenarnya di lapangan. Ketelitian ini sangat penting untuk memastikan peta yang presisi dan akurat, terutama dalam aplikasi seperti survei properti, perencanaan tata ruang, dan rekayasa sipil. Pengujian ketelitian ini berpedoman pada PMNA Nomor 3 Tahun 1997 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar Pendaftaran.

$$RMS \text{ jarak} = \sqrt{\frac{\sum(\Delta D - \Delta D \text{ rata rata})^2}{n}} \quad (2)$$

Dimana ΔD = rata-rata selisih jarak dan n = jumlah sampel, sehingga memungkinkan evaluasi presisi peta berdasarkan data yang dihasilkan.

Setelah mendapatkan nilai RMSe jarak, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan dalam Perka BIG No 6 Tahun 2018, berdasarkan kelas yang ditentukan dalam **Tabel 1**.

Tabel 1. Klasifikasi ketelitian geometri peta RBI

No	Skala	Ketelitian Peta RBI		
		Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
		CE90 (m)	CE90 (m)	CE90 (m)
1	1 : 1.000.000	300	600	900
2	1 : 500.000	150	300	450
3	1 : 250.000	75	150	225
4	1 : 100.000	30	60	90
5	1 : 50.000	15	30	45
6	1 : 25.000	7,5	15	22,5
7	1 : 10.000	3	7,5	9
8	1 : 5.000	1,5	3	4,5
9	1 : 2.500	0,75	1,5	2,3
10	1 : 1.000	0,3	0,6	0,9

Sumber : Perka BIG Nomor 6 Tahun 2018 [6]

Tabel 2 Toleransi ketelitian planimetrik jarak

Ketelitian	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
	0,2 mm	0,3 mm	0,5 mm
Horizontal	X	X	X
	bilangan skala	bilangan skala	bilangan skala

Sumber : Perka BIG Nomor 6 Tahun 2018 [6]

Pengujian ketelitian planimetrik jarak dilakukan dengan membandingkan nilai RMS jarak yang dihitung terhadap nilai toleransi yang telah ditetapkan, untuk memastikan apakah hasilnya memenuhi standar akurasi atau tidak.

Ketelitian Planimetrik Luas

Standar pengujian ketelitian planimetrik mengikuti Peraturan Menteri Negara Agraria/Kepala BPN No. 3 Tahun 1997. Pengujian ketelitian luas membandingkan luas bidang tanah pada peta foto udara dengan luas sebenarnya di lapangan, termasuk detail batas tanah. Selisih luas diuji dengan rumus toleransi kesalahan.

$$\text{Toleransi Kesalahan Luas} = \pm 0.5 \sqrt{L} \quad (3)$$

Dimana L = luas bidang tanah sesungguhnya di lapangan

Ketelitian Geometrik Horizontal

Ketelitian geometrik horizontal mengukur kesesuaian representasi geometrik bidang tanah pada peta dengan bentuk, dimensi, dan posisinya di lapangan. Ketelitian ini sangat penting untuk memastikan akurasi penggambaran yang menjadi dasar bagi kepentingan pertanahan, lingkungan, dan pembangunan.

$$CE90 = 1,5175 \times RMSE \quad (4)$$

Nilai RMSE yang digunakan merupakan nilai yang telah didapatkan dengan perhitungan pada Rumus 1.

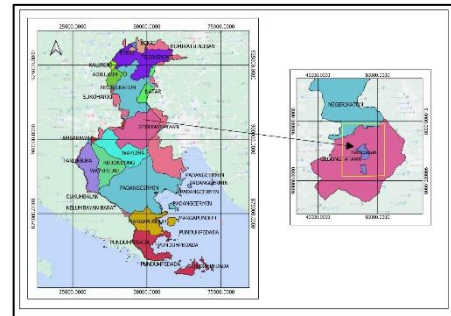
Setelah diperoleh nilai CE90, hasil tersebut disesuaikan kembali dengan **Tabel 1** di atas untuk menentukan skala peta yang akan digunakan dalam proses layout.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Pemelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan September 2024. Penelitian ini berlokasi di Dusun Kampung Sawah, Desa Kebagusan, Kecamatan Gedong Tataan, Kabupaten

Pesawaran, Provinsi Lampung. **Gambar 1** dan **Gambar 2** menunjukkan letak lokasi penelitian dan lokasi pengamatan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian



Gambar 2 Lokasi Pengamatan

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu perangkat keras dan lunak.

Berikut adalah perangkat keras yang digunakan:

1. Drone DJI Phantom 4
2. Handphone
3. Laptop
4. GPS Geodetic

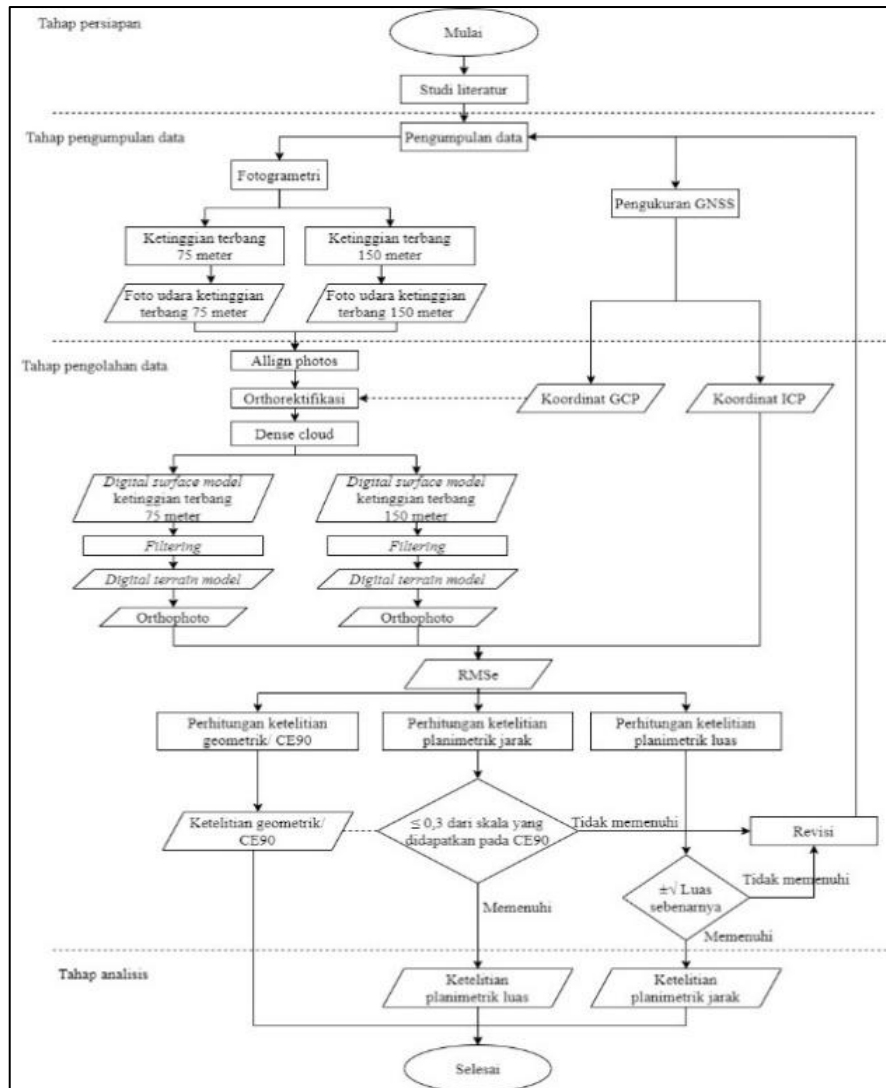
Berikut adalah perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini:

1. DJI Go 4
2. PIX4Dcapture
3. Program untuk pengolahan foto udara
4. QGIS
5. Microsoft Excel
6. Microsoft Word

Bahan atau data yang digunakan dalam penelitian ini adalah titik koordinat yang diukur langsung dari lapangan, berupa 25 titik ICP, 3 titik GCP, serta foto udara dari UAV dengan ketinggian terbang 75 dan 150 meter yang diolah menjadi peta foto udara.

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan melalui beberapa tahapan. Tahapan penelitian secara rinci dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

GCP dan ICP

Penelitian ini menggunakan 3 titik GCP dan 25 titik ICP. Awalnya, penulis menggunakan 4 titik yang tersebar di tiap sudut jalur terbang *drone*, namun salah satu titik tidak berada pada tempatnya. **Tabel 3** dan **Tabel 4** dibawah ini merupakan koordinat GCP.

Tabel 3. Koordinat GCP

Point Name	Longitude	Latitude	Altitude
Gcp_1	48127,2064	904923,4787	177,117
Gcp_2	48150,2679	904800,7498	176,703
Gcp_3	47927,6724	904809,5451	166,235

Pengukuran GCP dan ICP dilakukan menggunakan alat GNSS dengan metode RTK dan *stick jalon*. Metode ini dipilih karena penelitian bertepatan dengan program pendaftaran tanah sistematis lengkap dari

Badan Pertanahan Nasional. Koordinat GCP yang diperoleh kemudian digunakan untuk proses orthorektifikasi foto udara.

Tabel 4. Koordinat ICP

<i>Point Name</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Altitude</i>
Pt1	48006,5688	904793,9397	168,78
Pt2	48008,7615	904827,1296	168,94
Pt3	48018,6073	904827,1418	169,26
Pt4	48020,6248	904817,1613	169,77
Pt5	48025,3477	904816,6454	169,85
Pt6	48024,4123	904792,4315	170,97
Pt7	48036,9779	904792,2648	170,01
Pt8	48037,3706	904826,8231	172,46
Pt9	48038,7543	904869,6483	174,10
Pt10	48050,1715	904869,6183	169,88
Pt11	48050,8830	904852,6333	173,89
Pt12	48065,0254	904853,9334	175,41
Pt13	48065,2394	904843,9605	175,52
Pt14	48066,0362	904876,6571	176,89
Pt15	48088,9492	904881,3138	174,47
Pt16	48090,3692	904852,6729	172,41
Pt17	48090,0461	904843,0373	172,21
Pt18	48090,5303	904819,4364	172,68
Pt19	48094,2769	904794,4253	173,49
Pt20	48080,5672	904793,0180	172,81
Pt21	48078,6240	904808,0593	175,94
Pt22	48066,0338	904806,9415	175,83
Pt23	48065,7683	904819,3141	175,36
Pt24	48066,5697	904792,2081	171,73
Pt25	48050,9214	904791,6298	169,6

Koordinat GCP dan ICP yang sudah didapatkan, kemudian menjadi data untuk menghitung RMSe, ketelitian geometrik, ketelitian planimetrik jarak, dan ketelitian planimetrik luas.

Foto Udara

Setelah pengambilan foto udara menggunakan *Drone DJI Phantom 4*, pada ketinggian 75 meter diperoleh 94 foto, sedangkan pada ketinggian 150 meter diperoleh 37 foto. Perbedaan ini disebabkan oleh ketinggian terbang yang memengaruhi jumlah foto, selain faktor front dan side overlap. Di bawah ini adalah sampel foto udara dari masing-masing ketinggian.



Gambar 4. Sampel foto udara ketinggian terbang UAV 75 meter.



Gambar 5. Sampel foto udara ketinggian terbang UAV 150 meter

Foto udara yang sudah dihasilkan kemudian dilakukan proses *orthorektifikasi* untuk meningkatkan akurasi posisi foto udara tersebut pada posisi sebenarnya di permukaan bumi. Proses *orthorektifikasi* menggunakan GCP yang sebelumnya sudah diakuisisi menggunakan alat GNSS dengan metode RTK. Proses ini dilakukan pada aplikasi untuk pengolah data foto udara.

Berikut pada **Tabel 5** dan **Tabel 6** merupakan perhitungan *orthorektifikasi* berdasarkan ketinggian terbang UAV.

Tabel 5. Perhitungan error ketinggian terbang UAV 75 meter

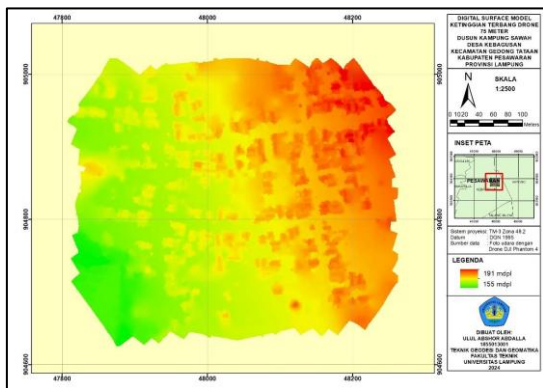
<i>Point Name</i>	<i>X Error (m)</i>	<i>Y Error (m)</i>	<i>Z Error (m)</i>	<i>Accuracy (m)</i>	<i>Error (m)</i>	<i>Projection</i>	<i>Error (pix)</i>
Gcp_1	-0.050	0.052	-0.001	0.05	0.072	9	1.383
Gcp_2	0.030	-0.072	0.017	0.05	0.080	8	0.431
Gcp_3	0.023	0.024	0.023	0.05	0.040	9	0.547
Total Error	0.036	0.053	0.016		0.066		0.907

Tabel 6. Perhitungan error ketinggian terbang UAV 150 meter

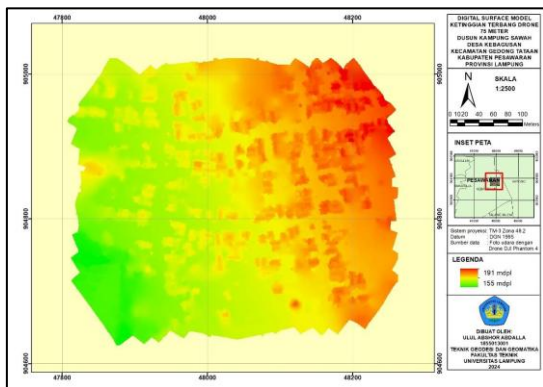
Point Name	X Error (m)	Y Error (m)	Z Error (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projection	Error (pix)
Gcp_1	-0.082	0.073	-0.008	0.05	0.110	11	0.853
Gcp_2	0.032	-0.107	0.004	0.05	0.112	14	0.833
Gcp_3	0.050	0.037	0.006	0.05	0.063	13	2.335
Total Error	0.058	0.078	0.006		0.098		1.527

Model 3 Dimensi

Pemodelan 3D mencakup *Digital Surface Model* dan *Digital Terrain Model*, yang diperlukan untuk memastikan apakah foto udara yang diolah sesuai dengan bentuk rupa bumi dan ketinggian objek yang ada di foto tersebut. *Digital Surface Model* dapat dilihat pada **Gambar 6** dan **Gambar 7**.



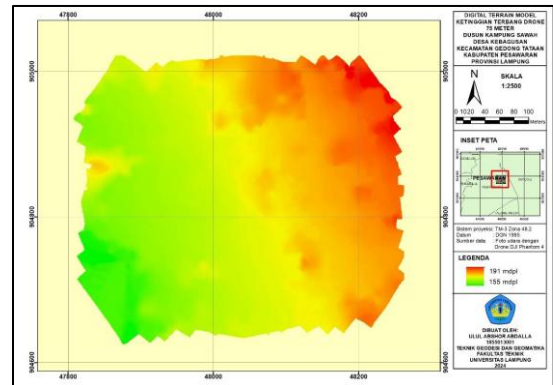
Gambar 6. DSM ketinggian terbang UAV 75 meter



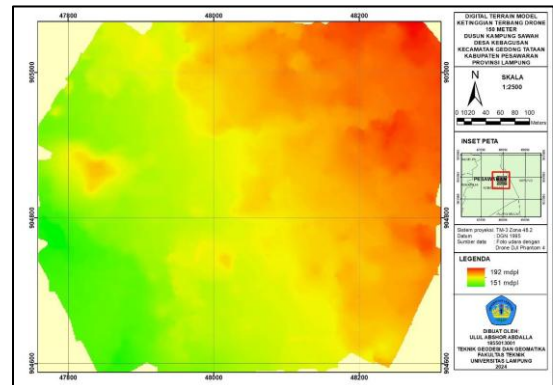
Gambar 7. DSM ketinggian terbang UAV 75 meter

Digital Surface Model kemudian difilter untuk menghilangkan objek seperti pohon dan rumah, menghasilkan DTM (*Digital Terrain Model*), yang dilakukan menggunakan program pengolah foto udara. Model 3 dimensi *Digital Surface Model* dapat

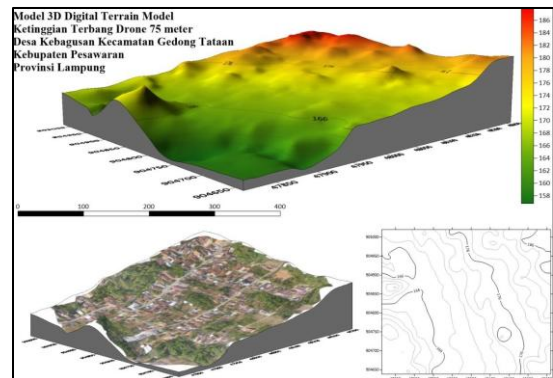
dilihat pada **Gambar 8**, **Gambar 9**, **Gambar 10**, dan **Gambar 11**.



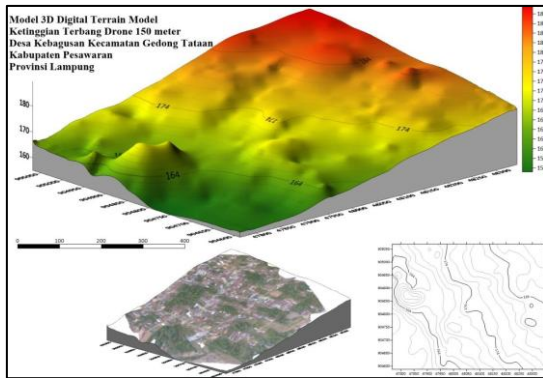
Gambar 8. DTM ketinggian terbang UAV 75 meter.



Gambar 9. DTM ketinggian terbang UAV 150 meter.



Gambar 10. Model 3D DTM ketinggian terbang UAV 75 meter.



Gambar 11. Model 3D DTM ketinggian terbang UAV 150 meter.

Ketelitian Geometrik

Pengukuran bidang tanah menggunakan alat GNSS dengan metode RTK menghasilkan 25 titik, namun hanya 13 titik yang dapat digunakan dalam pengolahan. Titik pengamatan lainnya tertutup oleh objek seperti atap rumah dan pohon, sehingga posisinya tidak dapat ditentukan melalui *orthophoto*.

Tabel 7 dan **Tabel 8** dibawah ini merupakan nilai ketelitian geometrik yang didapatkan.

Tabel 7. Ketelitian geometrik ketinggian terbang UAV 75 meter

Titik	ICP
A1	0,208
A2	0,192
A3	0,694
A4	0,010
A5	0,001
A6	0,566
A10	0,000
A15	0,003
A16	0,025
A17	0,082
A18	0,859
A19	0,000
A25	0,850
Jumlah	3,489
Rata-rata	0,268
RMS _e	0,518
CE90 (m)	0,786
Planimetrik jarak	0,248

Tabel 8. Ketelitian geometrik ketinggian terbang UAV 150meter

Titik	ICP
B1	0,204
B2	0,705
B3	0,203
B4	0,156
B5	0,051
B6	0,008
B10	2,413
B15	0,037
B16	0,071
B17	0,921
B18	0,056
B19	0,113
B25	0,015
Jumlah	4,953
Rata-rata	0,381
RMS _e	0,617
CE90 (m)	0,937
Planimetrik jarak	0,352

Ketelitian Planimetrik Jarak

Pengujian ketelitian planimetrik dilakukan dengan menghitung selisih antara sampel jarak dan luas dari digitasi *orthophoto* dengan data hasil pengukuran di lapangan. Perhitungan ketelitian planimetrik jarak menggunakan ketetapan yang ada di Perka BIG No 15 Tahun 2014 pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

Pada **Tabel 7** untuk ketinggian terbang UAV 75 meter, nilai CE90 sebesar 0,786 meter memenuhi klasifikasi peta skala 1:2500 kelas 1, di mana ketelitian planimetrik yang dipersyaratkan adalah $\leq 1,25$ meter (hasil perhitungan $0,3 \text{ mm} \times 2500$). Hasil planimetrik jarak sebesar 0,362 meter masih lebih kecil dari batas tersebut, sehingga memenuhi standar Badan Informasi Geospasial (BIG).

Demikian pula pada **Tabel 8**, ketinggian terbang UAV 150 meter menghasilkan nilai CE90 sebesar 0,937 meter, yang juga masuk dalam klasifikasi peta skala 1:2500 kelas 1, dengan ketelitian planimetrik $\leq 1,25$ meter. Hasil ketelitian planimetrik jarak

sebesar 0,352 meter juga memenuhi standar BIG karena masih di bawah 1,25 meter.

Ketelitian Planimetrik Luas

Pengujian ketelitian planimetrik luas dilakukan dengan menghitung selisih luas sampel bidang antara luas di foto dengan luas sebenarnya. Pengujian planimetrik luas ini dihitung dengan jumlah sampel bidang tanah dengan luasan dan situasi kondisi dilapangan yang berbeda, dengan menggunakan rumus yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Negara Agraria / Kepala Badan Pertanahan

Nasional No. 3 Tahun 1997 Tentang Ketentuan Pelaksanaan Pendaftaran Tanah. Dengan rumus nomor 2.

Dalam pengujian ketelitian planimetrik luas, diperoleh 9 sampel bidang tanah dari lapangan. Namun, saat melakukan digitasi melalui *orthophoto*, hanya 1 sampel yang berhasil didigitasi karena objek yang menghalangi titik pengamatan, sehingga beberapa titik tidak dapat terdigitasi.

Pada halaman selanjutnya terdapat **Tabel 9** dan **Tabel 10** perhitungan planimetrik luas.

Tabel 9. Perhitungan Selisih Luas Ketinggian Terbang 150 meter

Persil	Luas di Lapangan (m ²)	Luas di Peta <i>Orthophoto</i> (m ²)	Selisih (m ²)	Toleransi (m ²)	Keterangan
A	532	530	2	± 11,5	memenuhi
B	478	-	-	-	-
C	1022	-	-	-	-
D	910	-	-	-	-
E	199	-	-	-	-
F	493	-	-	-	-
G	598	-	-	-	-
H	246	-	-	-	-
I	624	-	-	-	-

Tabel 10. Perhitungan Selisih Luas Ketinggian Terbang 150 meter

Persil	Luas di Lapangan (m ²)	Luas di Peta <i>Orthophoto</i> (m ²)	Selisih (m ²)	Toleransi (m ²)	Keterangan
A	532	528	4	± 11,53	memenuhi
B	478	-	-	-	-
C	1022	-	-	-	-
D	910	-	-	-	-
E	199	-	-	-	-
F	493	-	-	-	-
G	598	-	-	-	-
H	246	-	-	-	-
I	624	-	-	-	-

Dari **Tabel 9** diperoleh hasil ketelitian planimetrik luas pada ketinggian terbang UAV 75 meter, di mana Persil A memiliki luas hasil pengukuran sebesar 530 m². Luas ini dibandingkan dengan hasil pengukuran langsung di lapangan yang menunjukkan luas 532 m², dengan toleransi kesalahan ±11,53 m². Selisih pengukuran sebesar 2 m², sehingga

luas 530 m² masih berada dalam batas toleransi kesalahan planimetrik.

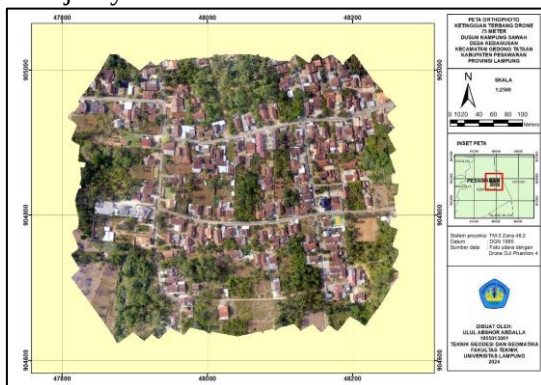
Selanjutnya, dari **Tabel 10** diperoleh hasil ketelitian planimetrik luas pada ketinggian terbang UAV 150 meter, di mana Persil A memiliki luas hasil pengukuran sebesar 528 m². Pengukuran langsung di lapangan menunjukkan luas 532 m², dengan toleransi kesalahan ±11,53 m². Selisih

pengukuran sebesar 4 m², sehingga luas 528 m² masih memenuhi batas toleransi kesalahan planimetrik.

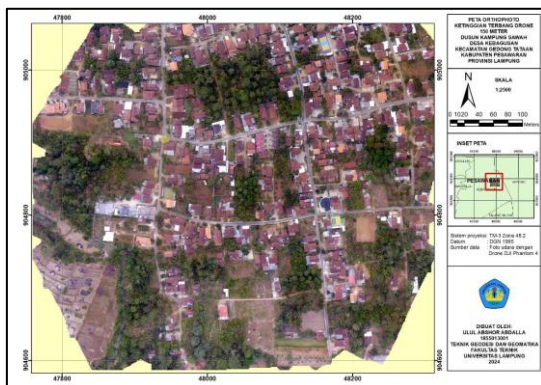
Peta Foto Udara

Pengujian Foto udara yang dihasilkan kemudian diolah menjadi peta *orthophoto*. Skala yang dihasilkan dari pemotretan udara menggunakan UAV DJI Phantom 4 setelah proses ortorektifikasi dan uji ketelitian planimetrik jarak dan geometrik adalah 1:2500. Meskipun terdapat banyak perangkat lunak untuk membentuk *orthophoto*, penelitian ini menggunakan Agisoft Metashape. Berikut adalah peta *orthophoto* yang menggunakan sistem koordinat DGN 1995 TM-3 Zona 48.2, berlokasi di Dusun Kampung Sawah, Desa Kebagusan, Kecamatan Gedong Tataan, Kabupaten Pesawaran, Lampung.

Peta foto udara dapat dilihat pada **Gambar 12** dan **Gambar 13** dihalaman selanjutnya.



Gambar 12. Peta *Orthophoto* ketinggian terbang UAV 75 meter.



Gambar 13. Peta *Orthophoto* ketinggian terbang UAV 150 meter.

KESIMPULAN

Hasil menunjukkan pada ketinggian terbang 75 meter, ketelitian planimetrik jarak rata-rata adalah 0,24 meter, sedangkan pada 150 meter menurun menjadi 0,35 meter. Ketelitian planimetrik luas memiliki selisih 2 meter persegi pada ketinggian 75 meter dan 4 meter persegi pada 150 meter. Ketelitian geometrik mencapai 0,78 meter pada ketinggian 75 meter dan 0,93 meter pada 150 meter. Ketinggian terbang 75 meter menghasilkan ketelitian planimetrik (jarak dan luas) serta ketelitian geometrik yang lebih tinggi daripada 150 meter, sedangkan ketinggian 150 meter memberikan cakupan area yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sari NM, Kushardono D. Klasifikasi Penutup Lahan Berbasis Obyek pada Data Foto Uav untuk Mendukung Penyediaan Informasi Penginderaan Jauh Skala Rinci. *Pengindraan Jauh*. 2014;11(2):114–27.
2. Wolf PR, Dewitt BA, Wilkinson BE. Chapter 1: Introduction. Vol. Fourth Edi, *Elements of photogrammetry with application in GIS*. 2014. 1–16 p.
3. Eisenbeiß H, Zurich ETH, Eisenbeiß H, Zürich ETH. UAV photogrammetry. *Institute of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2009. 201 p.
4. Awak NIR, Phantom DJI. *Jurnal Geodesi Undip* April 2019. 2019;8(April):8–18.
5. Husna SN, Subianto S, Hani'ah. Penggunaan Parameter Orientasi Eksternal (eo) Untuk Optimisasi Digital Triangulasi Fotogrametri Untuk Keperluan Ortofoto. 2016;5:188–95.
6. Badan Informasi Geospasial. Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 6 tahun 2018 tentang perubahan atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. *Badan Inf Geospasial Bogor*. 2018;2014–6.