

PERBANDINGAN PERFORMANSI PEMETAAN FOTO UDARA OLEH DUA UAV PADA KETINGGIAN TERBANG YANG BERBEDA

Rizky Fujianto¹⁾, Henyningtyas Suhel²⁾, Arif Eko Wibawanto³⁾

email: heny.ningtyas@poliban.ac.id²⁾, arifeko@poliban.ac.id³⁾

^{1,2,3} Program Studi Teknologi Rekayasa Geomatika dan Survei
Jurusan Teknik Sipil dan Kebumihan Politeknik Negeri Banjarmasin

Ringkasan

Seiringnya dengan perkembangan zaman kegiatan fotogrametri lebih banyak dilakukan menggunakan drone, karena dapat dengan cepat, mudah, dan juga fleksibel. Dengan memanfaatkan teknologi fotogrametri kamera non metrik dengan menggunakan pesawat tanpa awak/ Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Hasil akuisisi dengan teknologi UAV sangat dipengaruhi oleh banyak faktor. Seperti jenis wahana, jenis sensor, ketinggian terbang, waktu akuisisi, kondisi cuaca, perangkat lunak pemrosesan, dan kemampuan operator. Tujuan dari Penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan ketelitian peta orthophoto dari tinggi terbang yang berbeda.

Karena dalam hasil akuisisi dengan teknologi UAV memiliki banyak faktor, salah satunya ketinggian terbang. Oleh sebab itu, untuk mengetahui seberapa pengaruh tinggi terbang UAV terhadap ketelitian peta orthophoto Hasil Penelitian ini didapatkan nilai ketelitian peta berdasarkan BIG No. 15 Tahun 2014. Dengan membandingkan tinggi terbang 80m dan 100m. Didapat seberapa pengaruh tinggi terbang terhadap ketelitian peta orthophoto. Apabila dengan hasil perhitungan secara rata-rata akurasi Horizontal (CE90) 0,934 meter dan Vertikal (LE90) 0,916 meter yang didapatkan dari tinggi terbang 80 meter. Sedangkan (CE90) 0,822 meter dan Vertikal (LE90) 0,956 meter yang didapatkan dari tinggi terbang 100 meter Hasil perhitungan ketelitian posisi peta orthophoto dengan berdasarkan nilai klasifikasi uji ketelitian sesuai ketentuan BIG No. 15 Tahun 2014, yang mana kedua hasil tersebut memenuhi standart ketelitian pada skala 1: 2.500.

Kata Kunci : Pemetaan Foto Udara, Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Tinggi Terbang, Orthophoto

1. PENDAHULUAN

Seiringnya dengan perkembangan zaman kegiatan fotogrametri lebih banyak dilakukan menggunakan drone, karena dapat dengan cepat, mudah, dan juga fleksibel. Dengan menggunakan teknologi fotogrametri kamera non-metrik melalui UAV, foto udara yang diambil tidak dapat langsung digunakan tanpa koreksi distorsi. Proses pengolahan data menggunakan metode fotogrametri yang tepat diperlukan untuk memastikan hasil pengukuran mencapai tingkat akurasi yang tinggi (Hamur et al., 2019)

“Dalam pemanfaatan UAV dalam menghasilkan mosaik data orthophoto maupun data ketinggian berbentuk Digital Surface Model (DSM). Hal yang paling penting yang perlu diperhatikan dalam pembuatan peta orthophoto, fokus utama adalah ketelitian geometrik. Yang umumnya dipengaruhi oleh faktor ketelitian orthophoto adalah GCP (Ground Control Point)/ Titik Kontrol Tanah. Banyak faktor memengaruhi hasil akuisisi menggunakan teknologi UAV, seperti jenis UAV, sensor yang digunakan, ketinggian penerbangan, waktu akuisisi, kondisi cuaca, perangkat lunak pemrosesan data, dan keahlian operator (Meiarti et al., 2019). Karena dalam hasil akuisisi dengan teknologi UAV memiliki banyak faktor, salah satunya ketinggian terbang. Oleh sebab itu, untuk mengetahui seberapa pengaruh tinggi terbang UAV terhadap ketelitian peta orthophoto. Maka dari penulis perlu melakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui bagaimana pengaruh tinggi terbang UAV terhadap ketelitian peta

orthophoto. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan ketelitian peta orthophoto dari tinggi terbang yang berbeda.

2. KAJIAN PUSTAKA

Fotogrametri

Fotogrametri merupakan proses untuk mendapatkan informasi tentang suatu objek melalui pengukuran yang dilakukan pada hasil foto udara objek tersebut. Sementara itu, interpretasi foto adalah ekstraksi informasi kualitatif dari foto udara suatu objek melalui analisis visual manusia dan penilaian fotografi (Mulia & Handayani, 2014). Berdasarkan definisi tersebut, pekerjaan fotogrametri dapat dibagi menjadi dua bagian.

- a. Metric Photogrammetry
Suatu pengukuran atau observasi yang sangat akurat dengan perhitungan detail untuk menentukan dimensi dan bentuk suatu objek.
- b. Fotogrametri Interpretasi
Kegiatan untuk mengenali dan mengidentifikasi suatu objek.

Mozaik Foto Udara

Mozaik foto udara adalah gabungan beberapa foto udara yang saling terhubung untuk mencakup area secara komprehensif (Yulianandha Mabur, 2019). Perkembangan teknologi telah memungkinkan pembuatan mozaik foto udara secara otomatis atau digital, yang lebih mudah dan cepat. Teknologi fotogrametri telah menghasilkan berbagai metode dan perangkat lunak otomatis untuk mendukung proses ini (Mabur, 2019). Mozaik foto udara dasar melibatkan penggabungan dua atau lebih foto dengan tumpang tindih untuk membentuk gambar utuh.

Kualitas Orthophoto

Kualitas orthophoto dinilai melalui uji ketelitian radiometrik dan geometrik (Octariady et al., 2017). Dalam penelitian ini, dilakukan uji ketelitian geometrik setelah koreksi geometrik menggunakan titik kontrol tanah (GCP) sebagai referensi untuk rektifikasi citra agar sesuai dengan koordinat geografis sebenarnya. Akurasi koreksi geometrik dievaluasi dengan perhitungan RMS Error dan uji ketelitian geometrik, mengacu pada Peraturan Kepala BIG tentang Ketelitian Peta Dasar (Sukojo & Alawy, 2016). Pengujian ketelitian memastikan data foto udara sesuai dengan kondisi lapangan, dengan membandingkan data hasil klasifikasi dengan keadaan sebenarnya di lapangan (Tjahjadi & Vicard, 2019).

Pengukuran Titik Kontrol

Titik kontrol dan titik ikat di sudut dan pusat blok area kerja harus diberi premark berbentuk tanda +. Pengukuran titik kontrol menggunakan peralatan koordinat metode satelit tipe Geodetic, baik melalui jaring atau radial. Untuk area minimal 5.000 hektar, UAV dengan RTK atau GNSS memerlukan minimal 10 titik kontrol (GCP), dengan titik kontrol internal (ICP) tersebar merata. Satu area kerja seluas 20.000 hektar memerlukan minimal 12 titik uji, mengikuti standar ketelitian peta sesuai SNI. Titik kontrol tanah harus ditempatkan di area terbuka yang terlihat dari udara (KEAGRARIAAN, 2017)

Global Positioning System (GPS)

GPS (Global Positioning System) adalah sistem berbasis satelit yang menyediakan informasi lokasi global. Data dikirim sebagai sinyal radio dari satelit ke GPS receiver, yang menunjukkan arah selama langit terlihat. Layanan GPS tersedia gratis, hanya memerlukan pembelian receiver. Awalnya untuk militer, GPS digunakan untuk sipil sejak 1980-an. GPS berfungsi 24 jam, menentukan posisi berdasarkan koordinat lintang dan bujur.

Sistem ini bekerja dengan menyelaraskan sinyal dari 24 satelit yang mengirimkan gelombang mikro ke Bumi, diterima oleh perangkat untuk menentukan posisi, kecepatan, arah, dan waktu. Sistem serupa termasuk GLONASS (Rusia), Galileo (Uni Eropa), dan IRNSS (India). GPS, atau NAVSTAR GPS (Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System), terdiri dari tiga komponen: satelit, pengontrol, dan penerima/pengguna, dengan 21 satelit aktif dan 3 cadangan (Wira et al., 2023)

Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Unmanned Aerial Vehicle (UAV), atau pesawat tanpa awak, telah berkembang pesat dalam fotogrametri. UAV fotogrametri memungkinkan pengukuran secara semi-otomatis atau otomatis dari jarak jauh tanpa pilot di dalamnya (Rizky, 2020).

Keunggulan UAV dibandingkan pesawat berawak termasuk kemampuannya beroperasi dalam situasi berisiko tinggi tanpa membahayakan nyawa manusia, menjangkau area sulit diakses, dan terbang pada ketinggian rendah untuk menghasilkan foto tanpa gangguan awan. UAV juga lebih ekonomis, dengan harga perangkat dan biaya operasional yang lebih terjangkau dibandingkan pesawat berawak (Hakim et al., 2021).

Adapun Komponen Unmanned Aerial Vehicle (UAV) yang harus dan setiap bagian tentunya memiliki peran dan fungsinya masing-masing pada keseluruhan Unmanned Aerial Vehicle (UAV).

- 1) *Frame*
- 2) *Flying Control*
- 3) *Motor*
- 4) *ESC (Electronic Speed Control)*
- 5) *Propeller*
- 6) *Kamera*
- 7) *Transmitter*

Penentuan Jalur Terbang

Perencanaan jalur penerbangan sangat krusial karena mempengaruhi kualitas foto udara. Rencana jalur terbang memastikan foto yang dihasilkan memiliki kualitas optimal dengan membuat jalur sejajar untuk memastikan tumpang tindih yang tepat antara foto-foto. Area tumpang tindih adalah tempat di mana foto-foto saling bertumpang tindih.



Gambar 1. Ilustrasi Jalur Terbang

Ketentuan Tinggi Terbang di Wilayah Udara Indonesia

Pesawat udara tanpa awak, yang dikendalikan dari jarak jauh atau secara otomatis. (Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM 37 Tahun 2020 tentang Pengoperasian Pesawat Udara Tanpa Awak Di Ruang Udara Yang Dilayani Indonesia, 2020). Peraturan ini bertujuan menjaga keselamatan penerbangan di ruang udara Indonesia. Pesawat tanpa awak tidak boleh beroperasi di atas 500 kaki (150 meter), kecuali untuk kepentingan khusus pemerintah seperti patroli batas wilayah, pengamatan cuaca, pengawasan taman nasional, dan survei pemetaan.

Uji Ketelitian Horizontal dan Vertikal Pada Peta

Ketelitian orthophoto mengacu pada standar dalam Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014. Ketelitian horizontal diukur dengan CE90, yang menunjukkan radius lingkaran di mana 90% kesalahan posisi horizontal tidak melebihi radius tersebut dari posisi sebenarnya. LE90 digunakan untuk mengukur ketelitian geometrik vertikal.

No	Skala	Interval kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)
1.	1:1.000.000	400	200	200	300	300,00	500	500,00
2.	1:500.000	200	100	100	150	150,00	250	250,00
3.	1:250.000	100	50	50	75	75,00	125	125,00
4.	1:100.000	40	20	20	30	30,00	50	50,00
5.	1:50.000	20	10	10	15	15,00	25	25,00
6.	1:25.000	10	5	5	7,5	7,50	12,5	12,50
7.	1:10.000	4	2	2	3	3,00	5	5,00
8.	1:5.000	2	1	1	1,5	1,50	2,5	2,50
9.	1:2.500	1	0,5	0,5	0,75	0,75	1,25	1,25
10.	1:1000	0,4	0,2	0,2	0,3	0,30	0,5	0,50

Gambar 2. Ketelitian Peta RBI

Ketelitian	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
Horizontal	0.2 mm x bilangan skala	0.3 mm X bilangan skala	0.5 mm X bilangan skala

Gambar 3. Ketelitian Geometri Berdasarkan Kelas

Trimble Bussines Center (TBC)

Trimble Business Center (TBC) adalah perangkat lunak dari Trimble yang digunakan untuk mengolah data pengamatan GPS, menggantikan Trimble Geo Office (TGO). Selain memproses data GPS, TBC juga mengolah data dari total station, leveling, dan fotogrametri.

Agisoft Metashape Profesional

Agisoft Metashape adalah perangkat lunak fotogrametri yang mengolah gambar digital, termasuk fotografi jarak dekat, foto udara, dan citra satelit. Perangkat lunak ini menghasilkan data spasial tiga dimensi yang dapat digunakan dalam Sistem Informasi Geospasial (SIG), dokumentasi warisan budaya, produksi efek visual, serta pengukuran objek dengan berbagai skala.

ArcGIS

ArcGIS adalah perangkat lunak sistem informasi geografis (SIG) yang digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisis data geografis. Perangkat lunak ini membantu ahli dalam penelitian, evaluasi, dan penarikan kesimpulan, serta mendukung pengembangan teori-teori baru.

Tahapan Pengolahan Peta Foto

Sebelum pengujian geometri real-time, koordinat ICP dan GCP diukur dengan metode statik singkat. Data GCP diolah menjadi orthophoto, yang mengoreksi distorsi relief dan orientasi foto sehingga gambar menjadi tegak. Orthophoto menggunakan proyeksi orthogonal untuk menghilangkan distorsi lensa kamera. Penelitian ini menggunakan Agisoft Metashape untuk mengubah data foto udara menjadi orthophoto (Wikandaru et al., 2019)

Skala Foto Udara

$$Skala = \frac{f}{H}$$

Skala foto adalah perbandingan antara jarak objek pada foto dan jarak sebenarnya, serta dipengaruhi oleh panjang fokus kamera dan tinggi terbang. Persamaan untuk skala foto udara dapat dirumuskan sebagai berikut:

- f = Panjang Fokus Kamera (cm)
- H = Ketinggian Terbang (cm)

Root Mean Square Error (RMSE)

Root Mean Square Error (RMSE) adalah ukuran perbedaan kuadrat antara nilai data dan nilai referensi independen dengan akurasi absolut. Dalam penelitian ini, RMSE terdiri dari dua nilai: RMSE

horizontal dan RMSE vertikal. RMSE dihitung dari perbedaan antara koordinat ICP yang diperoleh dari RTK dan koordinat ICP setelah photomapping.

$$RMSE_{horizontal} = \sqrt{\frac{D^2}{n}}$$
$$\sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} = \sqrt{\frac{\sum[(X_{data} - X_{cek})^2 + (Y_{data} - Y_{cek})^2]}{n}}$$
$$RMSE_{vertikal} = \sqrt{\frac{\sum[(Z_{data} - Z_{cek})^2]}{n}}$$

Keterangan:

- n : Jumlah total pengecekan pada peta
- D : Selisih antara koordinat yang diukur dari sumber independent dengan koordinat di peta
- x : Nilai koordinat pada sumbu x
- y : Nilai koordinat pada sumbu y
- z : Nilai koordinat pada sumbu z

Apabila pada pengukuran koordinat memiliki satuan meter, maka satuan pada perhitungan RMSE juga dalam meter (Wikandaru et al., 2019)

Uji Ketelitian Geometri

Pengujian geometri mengacu pada Perka BIG No. 15 Tahun 2014 (Badan Informasi Geospasial, 2014) dan dilakukan dengan menghitung CE90 dan LE90:

1. CE90 (90% Circular Error) mengukur presisi geometri horizontal, menunjukkan bahwa 90% kesalahan posisi horizontal objek tidak melebihi radius lingkaran tertentu dari posisi sebenarnya.
2. LE90 (90% Linear Error) mengukur ketelitian vertikal, menunjukkan bahwa 90% kesalahan tinggi objek tidak melebihi jarak tertentu dari tinggi sebenarnya.

Nilai CE90 dan LE90 dapat ditemukan dalam Standar Akurasi Pemetaan Nasional Amerika Serikat (Wikandaru et al., 2019)

Spesifikasi Alat

1. *Stonex S850a*: penerima GNSS berkinerja tinggi yang kompak, dengan fitur unik yang tidak ada tandingannya di kelasnya. S3A dilengkapi dengan konstelasi 800 saluran GNSS dan mendukung GPS, GLONASS, BEIDOU, serta GALILEO, termasuk koreksi gelombang-L.



Gambar 4. Stonex S850a

2. *Drone DJI Phantom 4 Advance*: pesawat tanpa awak yang dapat terbang secara otonom dengan autopilot atau dikendalikan secara semi-otonom melalui remote control dari darat.



Gambar 5. DJI Phantom 4 Advance

DJI Mavic 2 Zoom: memungkinkan penggunaan lensa berkualitas tinggi dengan desain yang dapat dilipat, mengurangi volume dan berat barang bawaan.

3. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian untuk Tugas Akhir ini yaitu berada di Politeknik Negeri Banjarmasin, yaitu berada di Jl. Brigjen H. Hasan Basri Kayu Tangi Banjarmasin Utara, Banjarmasin, 70123 Kalimantan Selatan. Berdasarkan rancangan area jalur terbang mencakup wilayah kampus Politeknik Negeri Banjarmasin mencapai luasan 10 hektar.

Peralatan

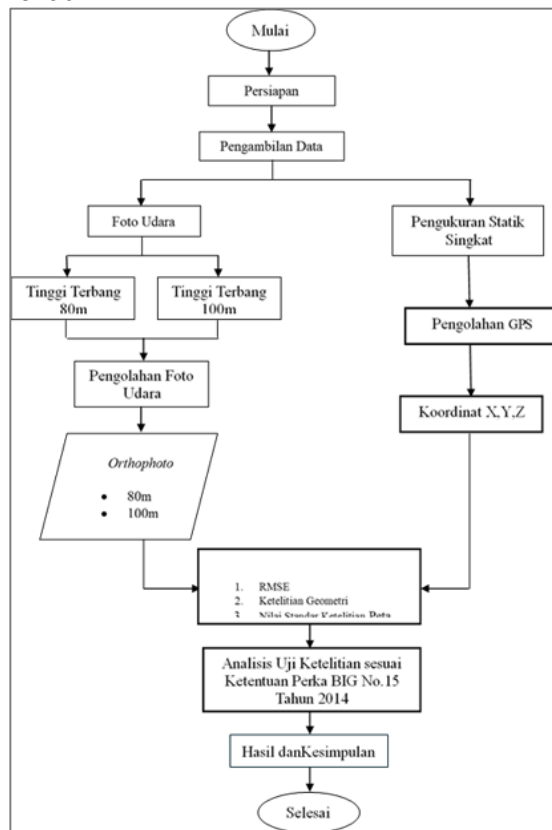
Dalam penelitian ini, digunakan berbagai peralatan yang menunjang kegiatan pengumpulan dan pengolahan data di lapangan. Adapun daftar peralatan yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Peralatan Yang Digunakan

No	Nama	Jumlah	Satuan
1	GPS Geodetic	2	Set
2	DJI Mavic 2 Zoom	1	Set
3	DJI Phantom 4 Advance	1	Set
4	Terpal	1	Buah
5	Handphone	1	Buah
6	Komputer	1	Set

GPS Geodetic digunakan untuk pengambilan data koordinat dengan tingkat akurasi tinggi. Dua unit GPS disediakan agar proses pengukuran dapat dilakukan secara simultan. Drone DJI Mavic 2 Zoom dan DJI Phantom 4 Advance digunakan untuk pemotretan udara serta dokumentasi visual dari lokasi penelitian. Terpal digunakan sebagai alas atau penutup alat saat di lapangan, guna melindungi dari cuaca atau medan yang tidak mendukung. Handphone berfungsi sebagai alat komunikasi dan pendukung dokumentasi tambahan, sedangkan komputer digunakan untuk proses pengolahan data hasil pengukuran dan analisis selanjutnya

Diagram Alir Tahapan Penelitian



Gambar 6. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Persiapan

1. Penentuan Titik GCP dan ICP

GCP dan ICP dibuat menggunakan penanda berbentuk + dari terpal berwarna mencolok. Sebelum menentukan titik di lapangan, dilakukan desain JKH (Jaring Kontrol Horizontal) untuk pengamatan rapid static.



Gambar 7. Persebaran GCP dan ICP

2. Penentuan Jalur Terbang

Sebelum pengambilan foto udara, dilakukan pengolahan dan pembuatan jalur terbang menggunakan software DroneDeploy. Pengaturan meliputi front overlap 80%, side overlap 75%, dan tinggi terbang 80 serta 100meter untuk area seluas 10 hektar.

3. Pengecekan Alat Drone Sebelum Melakukan Pengambilan Foto Udara

Pastikan semua perlengkapan untuk pengambilan foto dengan UAV lengkap, termasuk frame drone, motor, baterai, propeller, remote control, kabel, handphone, dan SD card.

4. Pengecekan Alat GPS Geodetic Sebelum Melakukan Pengambilan Titik GCP dan ICP

Pastikan semua peralatan untuk pengambilan GCP dan ICP, termasuk antena, kabel, baterai, dan unit kontrol, dalam kondisi baik dan terisi penuh.

Pengambilan Data

1. Foto Udara Tegak

Penerbangan dilakukan dengan drone DJI Phantom 4 Advance dan DJI Mavic 2 Zoom sesuai jalur terbang yang telah diatur di atas area Politeknik Negeri Banjarmasin pada ketinggian 80m dan 100m.

2. Pengukuran *GPS Rapid Static*

Pengambilan koordinat ICP dilakukan di lapangan menggunakan GPS Geodetik dengan metode rapid static. Setelah marking, titik-titik tersebut diketahui nilai koordinatnya.

Pengolahan Foto Udara

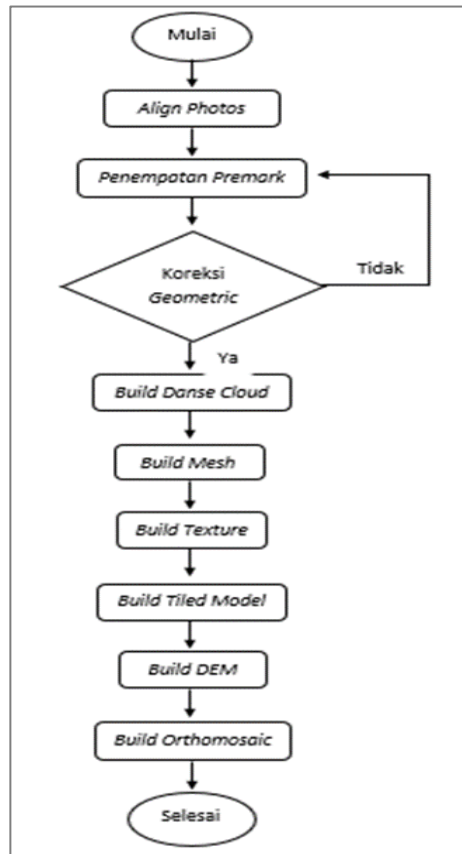
Tahapan pengolahan foto udara ini menggunakan data tinggi terbang 80m dan 100m dari alat yang berbeda.

Uji Ketelitian Sesuai Ketentuan BIG No.15 Tahun 2014

Tahapan ini melibatkan pengujian ketelitian peta orthophoto dari berbagai ketinggian terbang menggunakan rumus sesuai ketentuan BIG No. 15 Tahun 2014.

Root Mean Square Error (RMSE)

Uji Ketelitian Geometric



Gambar 8. Pengolahan Foto Udara

4. HASIL DAN PEMBAHASAN Hasil Koreksi Geometric pada GCP

Dari hasil pengambilan foto udara menggunakan Dji Mavic 2 Zoom dan Dji Phantom 4 Advance dengan tinggi terbang 80 meter dan 100 meter, pada gambar di bawah ini adalah hasil koreksi geometric.

Markers	East err (m)	North err (m)	Alt. err (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
✓ GCP4	0.005935	0.005600	0.001873	0.005000	0.008372	24	0.347
✓ GCP1	-0.023460	0.036910	-0.001538	0.005000	0.043762	21	0.643
✓ GCP3	-0.035967	-0.019474	-0.001632	0.005000	0.040934	17	0.828
✓ GCP2	0.053563	-0.023209	0.002058	0.005000	0.058411	23	0.855
Total Error							
Control points	0.034454	0.024039	0.001787		0.042049		0.686

Gambar 9. Koreksi Geometric Mavic 80 Meter

Markers	East err (m)	North err (m)	Alt. err (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
✓ GCP3	-0.031632	-0.003243	-0.003998	0.005000	0.032048	15	0.638
✓ GCP2	0.034097	-0.029671	0.005000	0.005000	0.045475	20	0.694
✓ GCP4	0.007631	0.001255	0.003439	0.005000	0.008464	19	0.726
✓ GCP1	-0.009987	0.031555	-0.004301	0.005000	0.033376	12	1.012
Total Error							
Control points	0.024089	0.021727	0.004222		0.032713		0.759

Gambar 10. Koreksi Geometric Phantom 80 Meter

Markers	East err (m)	North err (m)	Alt. err (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
✓ GCP2	0.046081	-0.014340	0.001441	0.005000	0.048282	24	0.929
✓ GCP1	-0.024247	0.031418	-0.001119	0.005000	0.039702	24	0.717
✓ GCP3	-0.023359	-0.018578	-0.001209	0.005000	0.029870	24	0.520
✓ GCP4	0.001581	0.001426	0.001141	0.005000	0.002415	22	0.264
Total Error							
Control points	0.028546	0.019621	0.001234		0.034661		0.661

Gambar 11. Koreksi Geometric Mavic 100 Meter

Markers	East err (m)	North err (m)	Alt. err (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
✓ GCP4	0.007404	0.002511	0.003784	0.005000	0.008686	20	0.283
✓ GCP1	-0.026073	0.030864	-0.004675	0.005000	0.040672	22	0.593
✓ GCP2	0.050013	-0.017449	0.005473	0.005000	0.053251	19	0.829
✓ GCP3	-0.031247	-0.015990	-0.004418	0.005000	0.035378	10	1.066
Total Error							
Control points	0.032451	0.019488	0.004627		0.038135		0.690

Gambar 12. Koreksi Geometric Phantom 100 Meter

Hasil Pengolahan Data GPS

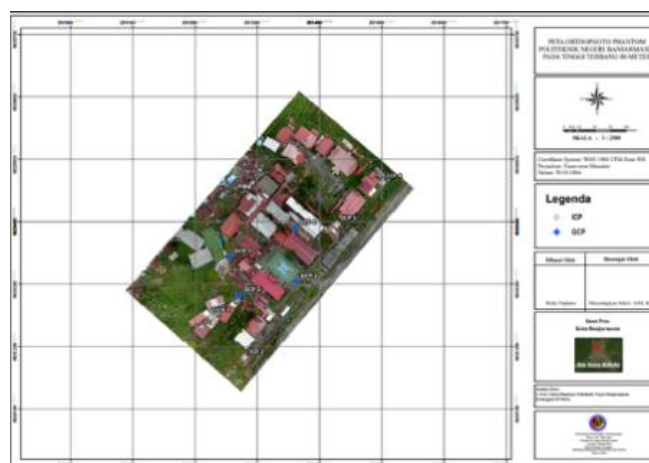
Setelah dilakukan pengolahan data GPS, didapatkan nilai GCP dan ICP yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Hasil Nilai GCP Dan ICP

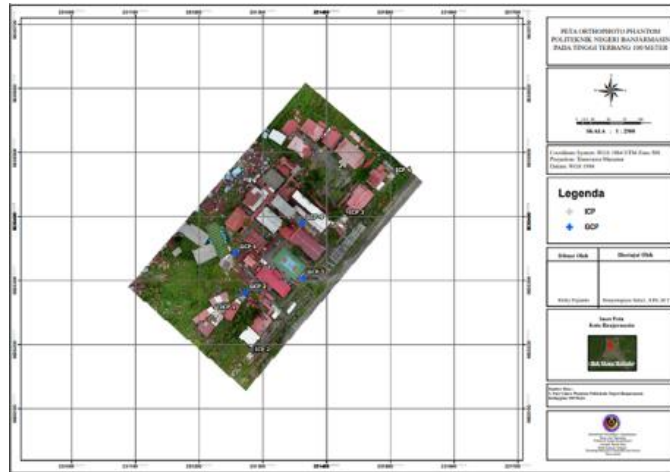
NO	X	Y	Z
BM1	231358,943	9635300,317	46,435
GCP1	231258,138	9635345,216	46,231
GCP2	231269,361	9635281,934	46,401
GCP3	231359,553	9635304,461	46,414
GCP4	231360,246	9635391,384	46,408
ICP1	231221,012	9635243,819	46,272
ICP2	231274,837	9635179,092	46,340
ICP3	231425,699	9635396,246	46,815
ICP4	231502,418	9635463,459	46,505

Hasil Pengolahan Foto Udara

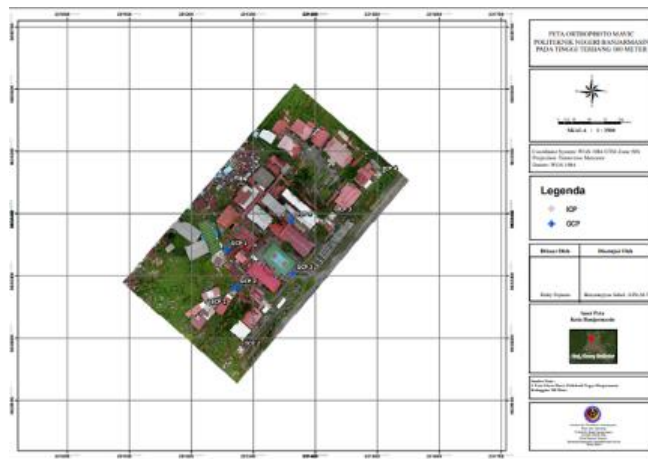
Dari hasil pengambilan foto udara menggunakan Dji Mavic 2 Zoom dan Dji Phantom 4 Advance dengan tinggi terbang 80 meter dan 100 meter, pada gambar di bawah ini adalah hasil dari pengambilan foto udara menggunakan Dji Mavic 2 Zoom.



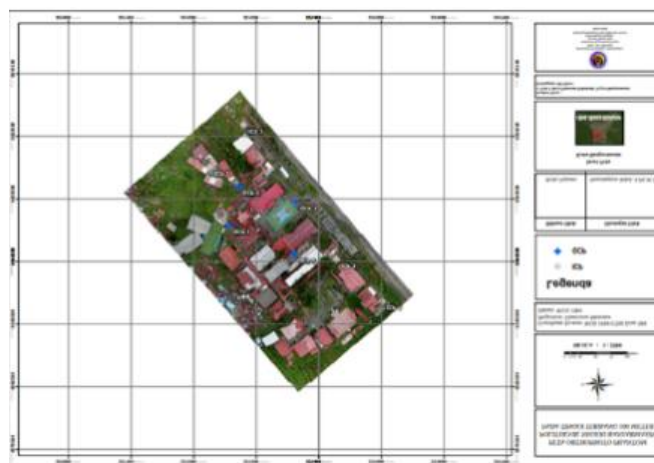
Gambar 13. Peta DEM 80 Meter



Gambar 14. Peta Orthophoto 80 Meter



Gambar 15. Peta DEM 100 Meter



Gambar 16. Peta Orthophoto 100 Meter

Hasil Perhitungan RMSE

Adapun persebaran titik uji ICP menggunakan penanda di area yang berbentuk + menggunakan warna putih. Keseluruhan total ICP berjumlah 4 buah premark yang tersebar di lokasi penelitian.



Gambar 17. Persebaran ICP

Berikut adalah nilai ICP dari seluruh hasil orthophoto dengan tinggi terbang 80 meter dan 100 meter. Nilai RMSE sendiri didapat selisih perbedaan ICP dari sumber GPS dengan ICP hasil pengolahan orthophoto.

Tabel 3. Hasil Orthophoto 80 Meter Menggunakan Mavic

Drone	Ketinggian	ICP	Koordinat		
			(X)	(Y)	(Z)
Mavic	80 m	ICP 1	231220.566	9635242.859	45.955
		ICP 2	231274.452	9635177.454	45.905
		ICP 3	231426.136	9635395.825	45.750
		ICP 4	231502.542	9635463.320	45.671

Tabel 4. Hasil Orthophoto 80 Meter Menggunakan Phantom

Drone	Ketinggian	ICP	Koordinat		
			(X)	(Y)	(Z)
Phantom	80 m	ICP 1	231220.503	9635242.704	45.555
		ICP 2	231274.630	9635177.408	45.274
		ICP 3	231426.091	9635395.810	45.452
		ICP 4	231502.412	9635463.406	44.359

Tabel 5. Hasil Orthophoto 100 Meter Menggunakan Mavic

Drone	Ketinggian	ICP	Koordinat		
			(X)	(Y)	(Z)
Mavic	100 m	ICP 1	231220.621	9635242.877	46.027
		ICP 2	231274.544	9635177.415	45.944
		ICP 3	231426.122	9635395.781	45.738
		ICP 4	231502.547	9635463.298	45.675

Data dari Tabel 3, 4, dan 5 diperoleh dengan memanfaatkan titik kontrol tanah atau Ground Control Point (GCP) yang dalam tabel ini disebut sebagai Image Control Point (ICP). Terdapat empat titik ICP yang digunakan, masing-masing dengan koordinat tiga dimensi yang mencakup posisi X, Y, dan Z. Data ini digunakan untuk validasi dan kalibrasi hasil akuisisi citra drone, sehingga kualitas georeferensi dari produk fotogrametri seperti ortofoto atau model permukaan dapat dipertanggungjawabkan secara spasial.

Tabel 6. Hasil Orthophoto 100 Meter Menggunakan Phantom

Drone	Ketinggian	ICP	Koordinat		
			(X)	(Y)	(Z)

Phantom	100 m	ICP 1	231220.561	9635242.870	45.673
		ICP 2	231274.408	9635177.459	45.404
		ICP 3	231426.162	9635395.768	45.291
		ICP 4	231502.529	9635463.249	44.104

Hasil perhitungan RMSE yang diambil dari tinggi terbang 80 meter dan 100 meter berada pada nilai diantara 0,375 meter hingga sebesar 0.788 meter. Apabila dihitung secara rata-rata, nilai RMSE terkecil terdapat pada tinggi terbang 100 meter dan nilai RMSE terbesar terdapat pada tinggi terbang 80 meter dapat dilihat pada tabel 7 sebagai tabel hasil perhitungan RMSE dari tinggi terbang 80 meter dan 100 meter.

Tabel 7. Hasil Perhitungan RMSE Dari Tinggi Terbang dan 100 Meter

Drone	Tinggi Terbang			
	80		100	
	RMSEr	RMSEz	RMSEr	RMSEz
Mavic	0,670 m	0,375 m	0,540 m	0,371 m
Phantom	0,561 m	0,735 m	0,544 m	0,788 m
Rata-rata	0,615 m	0,555 m	0,542 m	0,579 m

Hasil Uji Ketelitian Geometri

Hasil perhitungan ketelitian geometri dengan tingkat kepercayaan 90% dapat dilihat pada tabel dibawah sebagai tabel hasil perhitungan CE90 dan LE90.

Tabel 8. Hasil Perhitungan CE90 Dan LE90

Drone	Tinggi Terbang			
	80		100	
	Horizontal (CE 90)	Vertikal (LE 90)	Horizontal (CE 90)	Vertikal (LE 90)
Mavic	1,017 m	0,620 m	0,819 m	0,612 m
Phantom	0,851 m	1,213 m	0,826 m	1,300 m
Rata-rata	0,934 m	0,916 m	0,822 m	0,956 m

Dari hasil perhitungan ketelitian geometri, nilai akurasi rata-rata horizontal dan vertikal dengan tinggi terbang 100 meter lebih rendah dibandingkan nilai akurasi rata-rata horizontal dan vertikal tinggi terbang 80 meter.

Klasifikasi Ketelitian Peta Orthofoto

Berdasarkan nilai klasifikasi uji ketelitian sesuai ketentuan Perka BIG No. 15 Tahun 2014, seluruh peta foto pada percobaan tinggi terbang 80meter dan 100meter dapat diklasifikasikan. Klasifikasi peta hasil uji coba dapat dilihat pada tabel dibawah sebagai tabel klasifikasi ketelitian peta.

Tabel 9. Klasifikasi Ketelitian Peta

Ketelitian Peta RBI Skala 2.500				
Drone	Tinggi Terbang	Ketelitian	Hasil Uji CE90 dan LE90	Kelas
Mavic	80	Horizontal	1,017	3
		Vertikal	0,620	2
Phantom	80	Horizontal	0,851	3
		Vertikal	1,213	3
Mavic	100	Horizontal	0,819	3
		Vertikal	0,612	2
Phantom	100	Horizontal	0,826	3
		Vertikal	1,300	Tidak Memenuhi Standar Ketelitian Vertikal

Dari hasil perhitungan klasifikasi ketelitian peta skala 1:2500, pada ketinggian 80 meter, percobaan pertama mendapatkan kelas 2 untuk horizontal dan vertikal, sementara percobaan kedua mendapatkan kelas 3. Pada ketinggian 100 meter, percobaan pertama menghasilkan kelas 3 untuk horizontal dan kelas 2 untuk vertikal, sedangkan percobaan kedua tidak memenuhi standar ketelitian vertikal.

Keterbaruan Penelitian Terhadap Penelitian Sejenis

Sehingga dapat dapat disimpulkan terhadap hasil dari penjelasan analisis dalam penelitian ini dimana, penelitian ini memiliki beberapa keterbaruan dibandingkan dengan penelitian sejenis yang telah dilakukan sebelumnya. Pertama, penelitian ini menggunakan penambahan metode yang dilakukan dalam menganalisis data, sehingga hasil penelitian ini lebih dapat diandalkan. Kedua, penelitian ini memiliki fokus pada aspek yang lebih spesifik dan relevan dengan kebutuhan saat ini, sehingga hasil penelitian ini dapat lebih aplikatif dan bermanfaat bagi stakeholders. Adapun perbedaan dengan penelitian sebelumnya terbagi dalam lima kriteria sebagai berikut :

Penelitian yang dilakukan oleh Syauqani, A dengan judul “Pengaruh variasi tinggi terbang menggunakan wahana unmanned aerial vehicle (UAV) quadcopter dji phantom 3 pro pada pembuatan peta orthofoto (studi kasus kampus universitas diponegoro)”. (Syauqani, A.; Subiyanto, S.; Suprayogi, 2017)

Tabel 10. Perbandingan Terhadap Penelitian Sejenis

Kriteria	Penelitian yang Dikerjakan	Penelitian Sejenis
UAV yang Digunakan	DJI Phantom 4 Advanced dan DJI Mavic 2 Zoom	DJI Phantom 3 Pro
Metode Pengambilan Titik Kontrol Tanah (ICP)	Metode <i>Real-Time Kinematic</i> (RTK)	GPS Geodetik untuk pengambilan titik GCP
Ketinggian Terbang	80 meter dan 100 meter	80 meter dan 100 meter
Konfigurasi Overlap	Overlap 80% dan Sidelap 75%	Overlap 80% dan Sidelap 70%
Analisis Berdasarkan Perka BIG No. 15 Tahun 2015	Perhitungan RMSE dan Uji Ketelitian Geometrik	Perhitungan RMSE dan Uji Ketelitian Geometrik

Dari tabel 4.10 fokus penting dalam penelitian ini adalah membandingkan performa pemetaan foto udara menggunakan dua jenis Unmanned Aerial Vehicle (UAV) yang berbeda, yaitu DJI Phantom 4 Advanced dan DJI Mavic 2 Zoom, pada dua ketinggian terbang yang berbeda. Dimana pertimbangan pemilihan wahana tersebut masing-masing secara umum memiliki kamera dengan sensor yang cukup besar dan resolusi tinggi serta dilengkapi dengan kemampuan optical zoom, yang dapat memberikan fleksibilitas dalam pengambilan gambar dari jarak yang bervariasi. Kemudian selain itu penentuan Overlap 80% dan Sidelap 75% Konfigurasi overlap yang tinggi ini dipilih untuk memastikan cakupan area yang optimal dan redundansi data yang cukup. Overlap yang memadai sangat penting dalam proses fotogrametri untuk menghasilkan model 3D dan orthomosaic yang akurat, serta meminimalkan gap atau area yang tidak tercakup dalam proses stitching gambar.

5. KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN

Kesimpulan

1. Apabila dengan hasil perhitungan secara rata-rata akurasi Horizontal (CE90) 0,934 meter dan Vertikal (LE90) 0,916 meter yang didapatkan dari tinggi terbang 80 meter. Sedangkan (CE90) 0,822 meter dan Vertikal (LE90) 0,956 meter yang didapatkan dari tinggi terbang 100 meter Hasil perhitungan ketelitian posisi peta orthophoto dengan berdasarkan nilai klasifikasi uji ketelitian sesuai ketentuan BIG No. 15 Tahun 2014, yang mana kedua hasil tersebut memenuhi standart ketelitian pada skala 1 : 2.500.
2. Setelah membandingkan hasil ketinggian terbang dan ketelitian geometri dari Unmanned Aerial Vehicle (UAV), dianjurkan untuk menggunakan ketinggian terbang sebesar 100 meter karena pada ketinggian tersebut, terdapat tingkat ketelitian geometri yang optimal.

Saran

1. Diharapkan saat pengukuran titik GCP dan ICP peneliti selanjutnya sangat memperhatikan kaidah-kaidah peletakan persebaran GCP dan ICP dan menambah titik ICP lebih dari 4 untuk meningkatkan ketelitian uji akurasi orthophoto.
2. Untuk pengolahan foto udara di Agisoft Metashape diharapkan peneliti selanjutnya menggunakan laptop yang memiliki spesifikasi RAM dan Processor yang tinggi. Karena pada pemilihan kualitas saat pengolahan memerlukan waktu yang lama.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Informasi Geospasial. (2014). Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014. *Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar*, 1–17. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/269446/perka-big-no-15-tahun-2014>
2. Hakim, M. A., Emawati, H., & Mujahiddin, D. E. (2021). Pemanfaatan Pesawat Tanpa Awak Untuk Pemetaan Dan Identifikasi Penutupan Lahan Pada Kawasan Hutan Pendidikan Unmul. *Agrifor*, 20(1), 47. <https://doi.org/10.31293/agrifor.v20i1.4900>
3. Hamur, P. K., Tjahjadi, M. T., & Yuliananda, A. (2019). Kajian pengolahan data foto udara menggunakan perangkat lunak agisoft photoscan dan PIX4D mapper (studi kasus : Kecamatan Lowokwaru , Kota Malang). *Teknik Geodesi, ITN Malang.*, 1–13. <http://eprints.itn.ac.id/>
4. KEAGRARIAAN, D. I. (2017). Petunjuk Teknis Pembuatan Peta Kerja dengan Menggunakan Pesawat Nirawak / Drone Nomor 02/JUKNIS-300/2017. *Direktorat Jendral Infrastruktur Keagrariaan Tahun 2016 Kementerian Agraria Dan Tata Ruang / Badan Pertanahan Nasional, 02 /JUKNIS*, 1–12.
5. 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. <https://doi.org/10.29405/jgel.v3i1.2987>
6. Mulia, D., & Handayani, H. H. (2014). Studi Fotogrametri Jarak Dekat Dalam Pemodelan 3D Dan Analisis Volume Objek. *Geoid*, 10(1), 32. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v10i1.687>
7. Octariady, J., Hikmat, A., Widyaningrum, E., Mayasari, R., & Fajari, M. K. (2017). Vertical accuracy comparison of digital elevation model from lidar and multitemporal satellite imagery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(1W1), 419–423. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-1-W1-419-2017>
8. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM 37 Tahun 2020 tentang Pengoperasian Pesawat Udara Tanpa Awak Di Ruang Udara Yang Dilayani Indonesia. (2020). *Pengoperasian Pesawat Udara Tanpa Awak Di Ruang Udara Yang Dilayani Indonesia*. 13.
9. Rizky, T. N. (2020). *Analisis Pembuatan Peta Ortofoto Dengan Data Unmanned Aerial Vehicle (Uav) Menggunakan Perangkat Lunak Open Source Opendronemap*.
10. Sukojo, B. M., & Alawy, M. M. (2016). Studi Analisis Ketelitian Geometrik Horizontal Citra Satelit Resolusi Tinggi Sebagai Peta Dasar Rdtr Pesisir (Studi Kasus: Kecamatan Bulak, Surabaya)) Studi Analisis Ketelitian Geometrik Horizontal Citra Satelit Resolusi Tinggi Sebagai Peta Dasar Rdtr Pes. *Geoid*, 12(1), 24–31.
11. Syaquani, A.; Subiyanto, S.; Suprayogi, A. (2017). Jurnal Geodesi Undip Januari 2017 UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) QUADCOPTER DJI PHANTOM 3 Jurnal Geodesi Undip Januari 2017. *Geodesi Undip*, 6(1), 249–257. <http://ijict.iaescore.com/index.php/IJICT/article/view/1083>
12. Tjahjadi, M. E., & Vicard, J. (2019). *Kualitas orthophoto terhadap perbedaan tinggi terbang*. 1–8.
13. Wikandaru, R., Gunawan, K., Sudiyanto, A., Nursanto, E., Cahyadi, T. A., Suhendra, Y. K., & Noor, R. I. L. (2019). Analisis Pengaruh Tinggi Terbang Drone terhadap Ketelitian Geometri Peta Foto.

- ReTII*, 2019(November), 143–151.
14. Wira, W. B., Arif Sulaiman, M., & Eriyandi. (2023). Analisis Perkembangan Sistem Navigasi Udara: Tantangan dan Peluang dalam Peningkatan Keselamatan Penerbangan. *Hal : Xx-Xxx Journal of Engineering and Transportation (JET)*, 1(1).
 15. Yulianandha Mabur, A. (2019). Analisis Pemanfaatan Opensource Dronedeploy Dalam Proses Mozaik Foto Udara (Uav). *Pawon: Jurnal Arsitektur*, 3(02), 79–92. <https://doi.org/10.36040/pawon.v3i02.891>