

Evaluasi Ketelitian Geometrik Foto Udara Metode Fotogrametri Berdasarkan Standar Badan Informasi Geospasial No. 15 Tahun 2014 Studi Kasus Desa Cigedug, Kecamatan Cigedug, Kabupaten Garut

Syauqi Arka Yudisti¹⁾, Dhafin Fadhlani Setiadi²⁾, Grace Ria Natalie Pangabean³⁾, Hasby Al Ghifari⁴⁾

^{1), 2), 3), 4)} Program Studi Survei Pemetaan dan Informasi Geografis, Universitas Pendidikan Indonesia
Jalan Dr. Setiabudi No. 229

Email : syauqiyuidisti@gmail.com¹⁾, fdhlnhdhfin12@upi.edu²⁾, grace_rnp22@upi.edu³⁾, hsbyal26@upi.edu⁴⁾

ABSTRACT

The availability of highly accurate base maps is essential for supporting geospatial information management and development planning at the village level. Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-based photogrammetry has become an efficient method for producing high-resolution geospatial data. This study aims to generate a base map of Cigedug Village, Cigedug District, Garut Regency, Indonesia, using UAV photogrammetry and to evaluate its geometric accuracy based on the standards of the Geospatial Information Agency (Badan Informasi Geospasial/BIG). Data acquisition was conducted using an Autel EVO II Pro V3 UAV, producing 1,463 aerial images covering 7.42 km² with a Ground Sampling Distance (GSD) of 5.23 cm/pixel. The images were processed in Agisoft Metashape through photo alignment, dense point cloud generation, Digital Elevation Model (DEM) construction, and orthomosaic generation. Geometric accuracy was evaluated using 11 Ground Control Points (GCPs) and 4 Independent Check Points (ICPs) by calculating the Root Mean Square Error (RMSE), Circular Error at the 90% confidence level (CE90), and Linear Error at the 90% confidence level (LE90). The orthophoto achieved a horizontal RMSE of 0.040 m with a CE90 of 0.061 m, and a vertical RMSE of 0.032 m with an LE90 of 0.053 m. These values satisfy the Class 1 accuracy requirements specified in the Regulation of the Head of the Geospatial Information Agency No. 15 of 2014. The results show that UAV-based photogrammetry is capable of producing orthophotos with geometric accuracy that meets national standards, making them suitable for village base map production.

Keywords : Photogrammetry, Ground Sampling Distance, CE90, LE90.

ABSTRAK

Ketersediaan peta dasar yang memiliki ketelitian geometrik tinggi merupakan salah satu kebutuhan utama dalam mendukung penyelenggaraan informasi geospasial serta perencanaan pembangunan di tingkat desa. Teknologi fotogrametri berbasis Unmanned Aerial Vehicle (UAV) menjadi salah satu metode yang mampu menghasilkan data spasial beresolusi tinggi secara efisien. Penelitian ini bertujuan menghasilkan peta dasar Desa Cigedug, Kecamatan Cigedug, Kabupaten Garut menggunakan fotogrametri UAV serta mengevaluasi ketelitian geometriker berdasarkan standar Badan Informasi Geospasial (BIG). Akuisisi data dilakukan menggunakan UAV Autel EVO II Pro V3 dan menghasilkan 1.463 foto udara dengan cakupan wilayah seluas 7,42 km² serta Ground Sampling Distance (GSD) sebesar 5,23 cm/pixel. Pengolahan data dilakukan menggunakan Agisoft Metashape melalui tahapan photo alignment, pembentukan dense point cloud, Digital Elevation Model (DEM), dan ortomosaik. Evaluasi ketelitian dilakukan menggunakan 11 Ground Control Point (GCP) dan 4 Independent Check Point (ICP) melalui perhitungan Root Mean Square Error (RMSE), Circular Error 90% (CE90), dan Linear Error 90% (LE90). Hasil penelitian menunjukkan nilai RMSE horizontal sebesar 0,040 m dengan CE90 sebesar 0,061 m serta RMSE vertikal sebesar 0,032 m dengan LE90 sebesar 0,053 m. Nilai tersebut memenuhi ketelitian Kelas 1 berdasarkan Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fotogrametri berbasis UAV mampu menghasilkan ortofoto yang memenuhi standar ketelitian geometrik nasional sehingga layak dimanfaatkan sebagai peta dasar desa.

Kata Kunci : Fotogrametri, Ground Sampling Distance, CE90, LE90.

1. Pendahuluan

Peta dasar adalah salah satu komponen penting dalam pengelolaan informasi geospasial karena berfungsi

sebagai referensi dalam berbagai kegiatan perencanaan, pengembangan, pengelolaan sumber daya, tata ruang, hingga pengambilan keputusan di tingkat nasional atau regional. Ketersediaan peta dasar dengan presisi geometrik tinggi menjadi kebutuhan utama untuk mendukung pengembangan berbasis ruang, termasuk di tingkat desa. Dengan meningkatnya kebutuhan akan data geospasial yang terkini, akurat, dan resolusi tinggi, metode survei konvensional mulai menghadapi berbagai keterbatasan, terutama dalam hal efisiensi waktu, biaya, serta kemampuan untuk mencakup area yang luas atau menangani kondisi topografi yang kompleks. Oleh karena itu, penggunaan teknologi fotogrametri berbasis UAV (Unmanned Air Vehicle) telah menjadi alternatif yang mampu menghasilkan data spasial resolusi tinggi dengan cara yang lebih cepat dan efisien dibandingkan dengan metode survei darat atau penggunaan citra satelit resolusi menengah. Penggunaan UAV dalam pemetaan skala besar juga telah diintegrasikan ke dalam standar pengumpulan data geospasial dasar yang diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG), sehingga memungkinkan penggunaannya sebagai salah satu metode penyediaan peta dasar jika memenuhi persyaratan ketelitian yang diperlukan. (Haque et al, (2024) menunjukkan bahwa pemanfaatan UAV untuk pembuatan peta citra desa mampu menghasilkan ketelitian horizontal sebesar 0,2483 m dengan resolusi 2,81 cm/pixel, sehingga terbukti efektif untuk mendukung percepatan penyediaan peta kerja pemerintahan desa.

Perkembangan teknologi fotogrametri memungkinkan proses akuisisi foto udara menggunakan kamera non-metrik yang dipasang pada UAV, menghasilkan ortofoto, model permukaan digital, serta berbagai produk spasial lainnya dengan resolusi yang sangat tinggi. Dibandingkan dengan gambar satelit, foto udara yang diperoleh melalui UAV memiliki keuntungan seperti fleksibilitas waktu akuisisi, resolusi spasial yang lebih detail, serta kemampuan untuk merekam objek permukaan secara terkini, yang membuatnya sangat cocok untuk kegiatan pemetaan skala besar. Berbagai penelitian di Indonesia menunjukkan bahwa hasil pemetaan menggunakan UAV dapat memenuhi ketentuan geometrik untuk peta dasar skala besar jika didukung oleh perencanaan misi penerbangan yang baik, penggunaan Titik Kontrol Tanah (GCP), serta proses fotogrametri yang sesuai dengan standar. Selain itu, parameter seperti Jarak Pengambilan Sampel di Tanah (GSD), konfigurasi GCP, dan proses orthorektifikasi menjadi faktor penting yang mempengaruhi kualitas geometrik ortofoto yang dihasilkan. (Widjajanti et al, 2026) menegaskan bahwa integrasi data sensor kamera dengan proses refinement ortofoto mampu meningkatkan ketelitian geometrik hasil pemetaan UAV sehingga layak digunakan sebagai dasar penyusunan peta bidang berketelitian tinggi.

Desa Cigedug, di kecamatan Cigedug, di kabupaten Garut, adalah salah satu daerah yang terus mengalami perkembangan penggunaan lahan dan pembangunan infrastruktur. Perubahan-perubahan ini menuntut ketersediaan data spasial terkini sebagai dasar untuk penyusunan rencana pembangunan pedesaan,

pengelolaan aset, perencanaan infrastruktur, serta kegiatan administrasi pertanahan. Namun, ketersediaan peta dasar dengan resolusi spasial tinggi yang menggambarkan kondisi eksisting di wilayah tersebut secara terkini tetap menjadi tantangan. Penggunaan citra satelit dengan resolusi menengah belum mampu menggambarkan secara detail objek-objek kecil, sementara akuisisi citra dengan resolusi sangat tinggi umumnya memerlukan biaya yang relatif tinggi. Kondisi ini menjadikan fotogrametri UAV sebagai alternatif potensial untuk menghasilkan peta dasar desa dengan kualitas geometris yang baik dan proses akuisisi data yang relatif cepat dan ekonomis. Namun, hasil pemetaan yang diperoleh harus dievaluasi untuk ketepatannya agar sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh Badan Informasi Geospasial sebelum digunakan sebagai data dasar dalam berbagai kegiatan pemetaan. Hidayat et al. (2025) berhasil menyusun peta foto udara desa berskala besar menggunakan UAV dengan ketelitian horizontal di bawah 0,25 m, sehingga membuktikan kelayakan pendekatan ini untuk kebutuhan pemetaan tingkat desa.

A. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan peta dasar desa Cigedug menggunakan metode fotogrametri dengan UAV dan mengevaluasi ketepatan geometris peta yang dihasilkan sesuai dengan standar ketelitian peta dasar yang berlaku. Evaluasi dilakukan melalui uji ketepatan horizontal ortofoto dengan menggunakan parameter yang direkomendasikan dalam pedoman teknis Badan Informasi Geospasial, untuk menentukan tingkat kelayakan data spasial yang dihasilkan guna mendukung kebutuhan pemetaan skala besar di tingkat desa. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang kualitas geometrik produk fotogrametri UAV sekaligus menjadi referensi untuk penggunaan teknologi tersebut.

B. Landasan Teori

1. Foto Udara

Foto udara adalah gambar permukaan bumi yang diperoleh melalui proses pengambilan gambar dari kendaraan udara, baik itu pesawat berawak atau kendaraan udara tanpa awak (UAV). Dalam bidang fotogrametri, foto udara digunakan sebagai sumber informasi spasial karena dapat merekam penampilan objek di permukaan Bumi dengan resolusi tinggi, sehingga memungkinkan proses interpretasi, pengukuran, dan ekstraksi informasi geospasial. Dengan perkembangan teknologi fotogrametri digital, penggunaan UAV semakin diterapkan dalam kegiatan pemetaan karena memungkinkan untuk menghasilkan data lebih cepat, dengan cara yang lebih fleksibel dan lebih ekonomis dibandingkan dengan metode survei konvensional.

Produk yang dihasilkan dari fotogrametri contohnya seperti ortofoto, model permukaan digital atau Digital Surface Model (DSM) dan model elevasi digital atau Digital Terrain Model (DTM), telah menjadi salah satu sumber utama dalam penyusunan peta dasar skala besar. Menurut Rachmanto dan Ihsan (2020), fotogrametri

adalah seni, ilmu, dan teknologi untuk memperoleh informasi yang andal tentang objek dan lingkungan fisik melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi gambar fotos dengan mempertimbangkan aspek geometris sebagai elemen utama dalam proses pemetaan.

Penggunaan foto udara dalam kegiatan pemetaan telah mengalami perkembangan yang sangat cepat dengan munculnya UAV yang dilengkapi dengan kamera digital resolusi tinggi. Dibandingkan dengan citra satelit resolusi sangat tinggi (CSRT) yang akan memakan biaya lebih tinggi, foto udara dengan kamera non-metrik konvensional memiliki biaya operasional lebih rendah, proses akuisisi data yang lebih sederhana, dan mampu menghasilkan resolusi spasial yang sangat tinggi. Namun, kamera non-metrik memiliki keterbatasan dalam hal kualitas geometrik, yang memerlukan proses kalibrasi kamera, orientasi foto, serta penggunaan titik kontrol tanah (Ground Control Point atau GCP) untuk meningkatkan ketepatan geometrik hasil pemetaan. Kamera non-metrik yang digunakan pada UAV mampu menghasilkan citra dengan resolusi spasial tinggi, tetapi ketelitian geometrik produk fotogrametri tetap dipengaruhi oleh parameter orientasi dan kalibrasi kamera. Penelitian Abeho et al. (2024) menunjukkan bahwa penerapan kalibrasi kamera dapat meningkatkan ketelitian geometrik produk UAV, baik DEM maupun ortofoto. Oleh karena itu, pengendalian parameter kamera menjadi salah satu aspek penting dalam memperoleh produk fotogrametri dengan ketelitian geometrik yang baik (Abeho et al., 2024).

Dalam pembuatan peta dasar, foto udara memiliki keuntungan karena dapat menunjukkan kondisi terkini permukaan tanah dengan tingkat detail yang tinggi. Karakteristik ini memungkinkan identifikasi berbagai objek seperti jaringan jalan, bangunan, batas penggunaan lahan, drainase, serta elemen topografi lainnya yang sulit diamati dengan citra satelit resolusi menengah. Selain itu, proses orthorektifikasi memungkinkan untuk menghilangkan distorsi geometris akibat kemiringan kamera atau variasi relief, sehingga menghasilkan ortofoto dengan sistem koordinat dan skala yang seragam. Berbagai studi menunjukkan bahwa ortofoto yang dihasilkan dari fotogrametri UAV dapat memenuhi standar ketepatan geometrik peta dasar jika didukung oleh desain misi penerbangan yang baik, nilai Ground Sampling Distance (GSD) yang sesuai, distribusi Ground Control Points (GCP) yang memadai, serta proses fotogrametri yang sesuai dengan prosedur. Oleh karena itu, foto udara telah menjadi salah satu sumber utama data untuk penyediaan informasi geospasial berskala besar di berbagai bidang, mulai dari pemetaan desa, pengelolaan lahan, hingga perencanaan infrastruktur.

2. Ground Sampling Distance

Ground Sampling Distance (GSD) merupakan salah satu parameter utama dalam fotogrametri yang menunjukkan ukuran sebenarnya di permukaan bumi yang direpresentasikan oleh satu piksel pada citra digital. Dengan kata lain, GSD menggambarkan resolusi spasial

citra hasil pemotretan udara sehingga semakin kecil nilai GSD, semakin tinggi tingkat detail objek yang dapat direkam. Nilai GSD dinyatakan dalam satuan sentimeter per piksel (cm/pixel) atau meter per piksel (m/pixel) dan menjadi dasar dalam menentukan kualitas data spasial yang dihasilkan. Menurut Rachmanto dan Ihsan (2020), GSD merupakan rasio antara ukuran piksel pada citra digital dengan ukuran sebenarnya di permukaan tanah, sehingga setiap satu piksel pada citra memiliki representasi ukuran tertentu di lapangan. Oleh karena itu, GSD menjadi parameter penting dalam perencanaan misi penerbangan karena berpengaruh langsung terhadap kemampuan citra dalam mengidentifikasi objek-objek permukaan bumi secara detail. Dalam pemetaan menggunakan UAV, penentuan nilai GSD harus disesuaikan dengan skala peta yang akan dihasilkan agar informasi spasial yang diperoleh memenuhi kebutuhan ketelitian geometrik sesuai standar yang berlaku.

Besarnya nilai GSD dipengaruhi oleh beberapa faktor teknis antara lain tinggi terbang wahana (flight altitude), panjang fokus lensa (focal length), ukuran sensor kamera, serta dimensi piksel pada sensor digital. Di antara faktor-faktor tersebut, tinggi terbang merupakan parameter yang paling dominan karena memiliki hubungan berbanding lurus terhadap nilai GSD. Semakin tinggi wahana melakukan pemotretan, maka luas permukaan tanah yang direkam setiap piksel akan semakin besar sehingga nilai GSD meningkat dan detail objek menjadi berkurang. Sebaliknya, penerbangan pada ketinggian yang lebih rendah menghasilkan nilai GSD yang lebih kecil sehingga citra memiliki resolusi spasial lebih tinggi. Namun demikian, penurunan tinggi terbang juga menyebabkan bertambahnya jumlah foto yang harus diambil untuk mencakup wilayah pemetaan sehingga waktu akuisisi dan proses pengolahan menjadi lebih besar. Oleh sebab itu, desain misi penerbangan harus mempertimbangkan keseimbangan antara kebutuhan resolusi spasial, efisiensi akuisisi data, kapasitas penyimpanan, dan waktu pemrosesan agar diperoleh hasil pemetaan yang optimal.

Dalam kegiatan pemetaan fotogrametri, GSD tidak hanya berfungsi sebagai indikator resolusi spasial, tetapi juga memiliki hubungan yang erat dengan kualitas geometrik produk ortofoto yang dihasilkan. Nilai GSD yang lebih kecil memungkinkan proses identifikasi titik ikat (tie point), Ground Control Point (GCP), maupun Independent Check Point (ICP) dilakukan dengan lebih presisi sehingga berkontribusi terhadap peningkatan akurasi hasil orientasi foto dan orthorektifikasi. Sebaliknya, penggunaan GSD yang terlalu besar dapat menyebabkan ketidakjelasan posisi objek, meningkatnya ketidakpastian koordinat, serta menurunkan ketelitian geometrik hasil pemetaan. Sondang (2017) menjelaskan bahwa salah satu indikator keberhasilan proses pengolahan foto udara adalah nilai Root Mean Square Error (RMSE) hasil orthorektifikasi yang lebih kecil daripada nilai GSD. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses pemrosesan fotogrametri telah dilakukan dengan baik sehingga mosaik ortofoto yang dihasilkan layak digunakan sebagai sumber informasi spasial untuk tahap analisis berikutnya. Dengan demikian, GSD tidak

hanya menentukan kualitas visual citra, tetapi juga menjadi parameter evaluasi terhadap kualitas geometrik hasil pemetaan.

Di Indonesia, penentuan nilai GSD dalam survei pemotretan udara telah diatur oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) melalui pedoman pengumpulan data geospasial dasar dan didukung oleh ketentuan ketelitian peta dasar. Dalam penelitian Rachmanto dan Ihsan (2020) dijelaskan bahwa BIG merancang nilai GSD berdasarkan skala peta yang akan dihasilkan sehingga proses akuisisi foto udara harus direncanakan sejak awal agar memenuhi spesifikasi tersebut. Selain itu, Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014 menegaskan bahwa kualitas suatu peta dasar harus dibuktikan melalui uji ketelitian geometrik menggunakan parameter CE90 dan LE90 yang dihitung dari nilai RMSE, sehingga pencapaian GSD yang sesuai merupakan salah satu prasyarat untuk memperoleh ketelitian geometrik yang memenuhi standar nasional. Dalam konteks penelitian ini, penentuan GSD menjadi tahapan penting pada perencanaan misi terbang UAV karena secara langsung mempengaruhi resolusi spasial ortofoto, ketelitian identifikasi objek, serta akurasi geometrik peta dasar Desa Cigedug yang akan dievaluasi berdasarkan standar Badan Informasi Geospasial.

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif, karena bertujuan mengukur dan mengevaluasi tingkat ketelitian geometrik hasil pemetaan foto udara secara objektif berdasarkan parameter numerik. Penelitian dilaksanakan di Desa Cigedug, Kecamatan Cigedug, Kabupaten Garut, dengan cakupan wilayah kajian seluas 7,42 km², pada bulan Juli 2026. Pemilihan lokasi didasarkan pada kebutuhan Desa Cigedug akan peta dasar dengan resolusi tinggi yang dapat mendukung perencanaan pembangunan desa, mengingat wilayah ini terus mengalami perubahan penggunaan lahan namun belum memiliki data spasial resolusi tinggi yang terbaru.

Akuisisi data foto udara dilakukan menggunakan UAV tipe Autel EVO II Pro V3, yang dilengkapi kamera non-metrik beresolusi tinggi. Foto udara format kecil yang dihasilkan kamera non-metrik memang unggul dari sisi resolusi spasial, namun ketepatan geometrisnya sangat bergantung pada proses kalibrasi kamera (Sondang, 2017) serta penggunaan titik kontrol tanah. Oleh karena itu, penentuan konfigurasi Ground Control Point (GCP) menjadi bagian penting dalam perencanaan penelitian ini. Untuk keperluan tersebut, penentuan koordinat titik kontrol dilakukan menggunakan perangkat GPS Geodetik, yang mampu menghasilkan ketelitian horizontal maupun vertikal jauh lebih tinggi dibandingkan GPS navigasi, sehingga sesuai digunakan sebagai acuan georeferensi pada pemetaan skala besar. Firmansyah et al. (2025) menegaskan bahwa penggunaan titik GCP hasil pengukuran GNSS statik memberikan ketelitian yang lebih baik dibandingkan metode Post Processed Kinematic (PPK) tanpa titik kontrol tanah, sehingga

penentuan GCP tetap menjadi pendekatan yang direkomendasikan untuk pemetaan skala besar.

Perencanaan misi terbang dilakukan pada ketinggian 200 meter di atas permukaan tanah dengan persentase pertampalan depan (front overlap) sebesar 70% dan pertampalan samping (sidelap) sebesar 60%, mengikuti prinsip bahwa semakin tinggi persentase overlap, semakin besar peluang (Rachmanto & Ihsan, 2020) setiap objek permukaan tanah terekam pada lebih dari satu foto sehingga hasil pengolahan data menjadi lebih jelas, akurat, dan mudah disusun menjadi gambaran bentuk permukaan tanah secara utuh.

Sebagai titik kontrol dalam proses georeferensi, penelitian ini menempatkan 11 titik Ground Control Point (GCP) yang tersebar mengelilingi tepi area kajian serta beberapa titik pada bagian tengah, dengan tujuan meminimalkan kesalahan sistematis dan menjaga konsistensi akurasi geometrik pada seluruh cakupan area. Selain itu, ditempatkan pula 4 titik Independent Check Point (ICP) atau checkpoint digunakan sebagai titik pembandingan yang tidak dilibatkan dalam proses *bundle adjustment* atau orientasi model. Koordinat checkpoint yang diperoleh melalui pengukuran lapangan digunakan untuk membandingkan posisi hasil pemetaan dengan posisi sebenarnya di lapangan sehingga ketelitian absolut produk fotogrametri dapat dievaluasi secara independen (Deliry dan Avdan, 2024).

Data foto udara yang telah diperoleh selanjutnya diproses menggunakan perangkat lunak Agisoft Metashape melalui tahapan align photos, pembentukan dense point cloud, pembuatan mesh dan texture, hingga menghasilkan produk akhir berupa Digital Surface Model (DSM) dan ortofoto. Sementara itu, data hasil pengukuran GNSS pada titik GCP dan ICP diolah menggunakan perangkat lunak Trimble Business Center (TBC) untuk memperoleh koordinat definitif yang presisi sebagai acuan uji akurasi. Metode analisis data dilakukan secara kuantitatif deskriptif dengan menghitung nilai Root Mean Square Error (RMSE) pada titik ICP, kemudian dikonversi menjadi nilai Circular Error 90% (CE90) untuk menguji ketelitian horizontal dan Linear Error 90% (LE90) untuk menguji ketelitian vertikal. Validitas hasil pemetaan dievaluasi dengan membandingkan nilai CE90 dan LE90 tersebut terhadap standar kelas ketelitian peta dasar yang ditetapkan dalam Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014, sehingga dapat ditentukan kelayakan ortofoto yang dihasilkan untuk digunakan sebagai peta dasar Desa Cigedug.

3. Hasil dan Pembahasan

1. Orthophoto dan Ground Sampling Distance

Proses akuisisi foto udara Desa Cigedug dilakukan menggunakan UAV Autel EVO II Pro V3 dengan kamera non-metrik XL705 (panjang fokus 10,1995 mm, ukuran piksel $2,4 \times 2,4 \mu\text{m}$, resolusi sensor 5472×3648), yang telah dikalibrasi sebelumnya (precalibrated). Akuisisi dilakukan pada ketinggian terbang rata-rata 214 m di atas permukaan tanah, menghasilkan 1.463 foto udara yang

mencakup wilayah seluas 7,42 km² dengan nilai Ground Sampling Distance (GSD) sebesar 5,23 cm/pixel.

Proses align photos pada perangkat lunak Agisoft Metashape berhasil mengikat seluruh 1.463 kamera (100% aligned), dengan jumlah tie points sebanyak 1.618.498 dari 2.034.857 titik kandidat dan jumlah proyeksi sebesar 4.448.467. Nilai RMS reprojection error yang diperoleh sebesar 0,43 piksel (0,1213 mm), yang berada jauh di bawah batas rekomendasi umum sebesar 1 piksel untuk pengolahan fotogrametri dengan kualitas tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa proses orientasi foto memiliki tingkat konsistensi geometrik yang sangat baik antar foto yang saling bertampalan.

Nilai GSD sebesar 5,23 cm/pixel yang diperoleh sejalan dengan kombinasi ketinggian terbang dan spesifikasi kamera yang digunakan, di mana semakin rendah ketinggian terbang serta semakin kecil ukuran piksel sensor, semakin kecil pula nilai GSD yang dihasilkan sehingga detail objek permukaan tanah dapat terekam dengan lebih baik. Nilai GSD ini juga telah memenuhi kaidah yang dikemukakan oleh Sondang (2017), yaitu bahwa nilai RMSE hasil orthorektifikasi seharusnya lebih kecil daripada nilai GSD — pada penelitian ini, RMSE horizontal (0,040 m) dan vertikal (0,032 m) memang berada di bawah nilai GSD (0,0523 m), yang mengindikasikan bahwa proses pengolahan fotogrametri telah dilakukan dengan baik.

Dari sisi geometri kamera, rata-rata error posisi kamera hasil optimasi tercatat sebesar 1,94 m (X), 4,71 m (Y), dan 5,02 m (Z), dengan total error rata-rata 7,15 m. Nilai ini relatif lebih besar dibandingkan ketelitian GCP/ICP karena posisi kamera hanya mengandalkan data GNSS onboard UAV (bukan RTK/PPK), namun hal tersebut telah dikompensasi melalui proses bundle adjustment dengan pengikatan 11 GCP yang terdistribusi merata di seluruh area kajian, sehingga ketelitian akhir orthomosaic dan DEM tetap terjaga pada tingkat sentimeter sebagaimana ditunjukkan oleh hasil uji CE90/LE90 pada subbab berikutnya.

Produk akhir orthomosaic memiliki dimensi 67.611 × 52.269 piksel dan DEM berukuran 33.806 × 26.135 piksel dengan resolusi 10,5 cm/pixel serta kerapatan titik dense cloud sebesar 91,2 titik/m², yang menunjukkan tingkat kedetailan yang memadai untuk merepresentasikan kondisi permukaan tanah Desa Cigedug, termasuk pola permukiman di Dusun 1, Dusun 2, dan Dusun 3, jaringan jalan, serta pola penggunaan lahan pertanian di wilayah tersebut. Produk orthophoto ini selanjutnya divisualisasikan pada skala 1:25.000 dengan sistem proyeksi UTM Zona 48S dan datum WGS 1984 sebagai peta dasar Desa Cigedug.

2. Ground Control Point (GCP)

Ground Control Point (GCP) merupakan titik kontrol yang digunakan dalam proses georeferensi dan optimasi model fotogrametri untuk meningkatkan ketelitian geometrik produk yang dihasilkan. Koordinat GCP yang diperoleh melalui pengukuran lapangan digunakan sebagai acuan dalam proses pengikatan dan optimasi

orientasi kamera sehingga produk fotogrametri, seperti ortofoto dan model permukaan, dapat memiliki posisi yang lebih akurat. Selain itu, jumlah dan distribusi GCP merupakan faktor penting yang memengaruhi distribusi kesalahan dan akurasi hasil pemetaan UAV (Bondar dan Medvedskyi, 2025).

Koordinat GCP dalam foto udara digunakan sebagai titik kontrol atau acuan dalam proses pengolahan data foto udara. GCP merupakan titik-titik yang terdapat di lapangan dan dapat diidentifikasi pada foto udara, serta memiliki koordinat yang diketahui dalam sistem koordinat tertentu. GCP digunakan sebagai titik sekutu dalam transformasi koordinat untuk menghasilkan foto udara yang mempunyai koordinat global. Dengan menggunakan GCP, foto udara dapat dikoreksi secara geometrik sehingga distorsi dan perspektif yang tidak diinginkan dapat dihilangkan. Susilo et al. (2023) membuktikan bahwa penambahan jumlah dan perbaikan pola distribusi GCP secara konsisten menurunkan nilai RMSE horizontal maupun vertikal pada peta ortofoto yang dihasilkan. Sejalan dengan itu, Herini dkk. (2026) juga menunjukkan bahwa penggunaan delapan titik GCP menghasilkan ketelitian yang lebih baik dibandingkan enam titik GCP pada pengolahan ortofoto dan DEM berbasis UAV.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
GCP2	0,0474 661	0,6881 79	- 0,0050 0764	0,6898 32	0.578 (7)
GCP3	- 1,6239 6	0,8905 26	- 0,2194 08	1,8650 5	1.299 (6)
GCP4	- 1,6698 7	- 2,3387 5	- 0,2810 08	2,8874 2	2.196 (7)
GCP6	0,3077 1	0,5782 1	0,0219 959	0,6553 6	0.687 (6)
GCP8	- 1,5962 5	0,5485 31	- 0,1924 34	1,6988	1.148 (10)
GCP9	- 0,0072 8975	- 0,0192 549	- 0,0065 5797	0,0216 078	0.547 (8)
GCP1	0,5655 21	2,3588 5	- 0,0651 69	2,4265 6	1.608 (8)
GCP5	- 3,2226	0,6746 14	0,0340 99	3,2926 3	3.247 (5)
GCP7	0,8170 1	- 1,0288 8	0,1107 39	1,3184 7	0.836 (9)
GCP1 1	0,6691 18	- 0,5932 78	0,0226 185	0,8945 45	0.657 (8)
GCP1 2	0,2336 26	- 0,4793 42	0,1781 53	0,5622 18	2.866 (4)
Total	1,3465 6	1,1689 8	0,1396 79	1,7886 4	1,522

Tabel 3.1 Control Point

Berdasarkan hasil Generate Report Ground Control Point (GCP), diperoleh nilai RMSE Total sebesar 1,78864 cm, dengan RMSE pada sumbu X, Y, dan Z masing-masing sebesar 1,34656 cm, 1,16898 cm, dan 0,13968 cm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa proses orientasi foto dan georeferensi menghasilkan ketelitian yang baik, karena residual kesalahan pada setiap sumbu relatif kecil. Rata-rata Image Error sebesar 1,522 piksel, yang masih

berada dalam batas yang direkomendasikan untuk pengolahan fotogrametri (<2 piksel), sehingga menunjukkan proses pencocokan titik pada citra berjalan dengan baik. Meskipun terdapat beberapa titik, seperti GCP4 dan GCP5, yang memiliki residual lebih besar dibandingkan titik lainnya, nilai tersebut masih tergolong kecil dan tidak berpengaruh signifikan terhadap kualitas model. Dengan demikian, hasil pengolahan fotogrametri dapat dinyatakan memiliki tingkat akurasi yang baik dan layak digunakan sebagai dasar pembuatan produk spasial seperti ortomosaik maupun model elevasi.

3. Independent Control Point (ICP)

Independent Check Point (ICP) merupakan titik kontrol yang digunakan sebagai titik pemeriksaan terhadap hasil pemodelan fotogrametri, di mana titik ini tidak diikutsertakan dalam proses orientasi maupun pemodelan sehingga memiliki peran penting untuk mengevaluasi ketelitian akhir suatu produk pemetaan. ICP atau *checkpoint* digunakan untuk mengevaluasi ketelitian absolut hasil pemetaan dengan membandingkan koordinat hasil produk fotogrametri terhadap koordinat titik yang diukur secara independen di lapangan. Karena titik tersebut tidak digunakan dalam proses bundle adjustment, hasil perbandingan dapat digunakan untuk mengevaluasi ketelitian produk secara lebih independen (Deliry & Avdan, 2024).

Koordinat ICP (Independent Check Point) dalam foto udara digunakan sebagai titik kontrol atau acuan dalam proses pengolahan data foto udara. ICP merupakan titik-titik yang terdapat pada foto udara dan memiliki koordinat yang diketahui dalam sistem koordinat tertentu. Koordinat ICP juga digunakan untuk memvalidasi dan memverifikasi hasil pemrosesan foto udara. Dengan membandingkan koordinat ICP yang diketahui dengan koordinat yang dihasilkan dari pemrosesan, dapat dievaluasi tingkat akurasi dan ketelitian hasil foto udara.

Label	X Error (cm)	Y Error (cm)	Z Error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
ICP 1	5,4521 5	-4,152 28	1,4178 4	6,9984	0.409 (11)
ICP 2	5,3537 4	-1,908 38	3,2089 5	6,5270 1	0.415 (14)
ICP 3	8,6460 8	-0,430 84	-0,405 675	8,6663 1	0.436 (6)
ICP 4	0,2242 09	3,0970 7	- 3,6767 2	4,8125 2	0.185 (6)
Total	5,7704 7	2,7686 1	2,5490 4	6,8892 1	0,389

Tabel 3.2 Check Point

Berdasarkan hasil Generate Report Independent Check Point (ICP), diperoleh nilai RMSE Total sebesar 6,88921 cm, dengan RMSE pada sumbu X, Y, dan Z masing-masing sebesar 5,77047 cm, 2,76861 cm, dan 2,54904 cm. Nilai ini menunjukkan tingkat akurasi model fotogrametri pada titik uji independen yang tidak digunakan dalam proses orientasi, sehingga dapat menggambarkan akurasi eksternal hasil pemetaan. Rata-rata Image Error sebesar 0,389 piksel, yang menunjukkan proses reproyeksi citra sangat baik karena berada jauh di bawah batas rekomendasi 2 piksel. Nilai residual terbesar terdapat pada ICP2 dengan total error 8,66631 cm, sedangkan residual terkecil terdapat pada ICP3 sebesar 4,81252 cm. Secara keseluruhan, hasil pengujian ICP menunjukkan bahwa model fotogrametri memiliki akurasi yang baik dan mampu merepresentasikan kondisi lapangan dengan tingkat kesalahan yang relatif kecil, sehingga hasil pemetaan dapat dinyatakan layak untuk digunakan sebagai produk spasial.

4. Uji Akurasi CE90 dan LE90

Uji Akurasi CE90	
Titik	Selisih Horizontal ($\sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2)}$)
ICP1	3,72 cm
ICP2	5,74 cm
ICP3	2,65 cm
ICP4	3,42 cm
RMSE	0,040474 m
CE90	0,061419 m

Uji Akurasi LE90	
Titik	Selisih Vertikal (ΔZ)
ICP1	0,10 cm

ICP2	0,63 cm
ICP3	6,38 cm
ICP4	0,14 cm
RMSE	0,032089 m
LE90	0,052944 m

Uji ketelitian geometrik ortofoto dan DTM dilakukan dengan menghitung nilai *Circular Error 90%* (CE90) untuk ketelitian horizontal dan *Linear Error 90%* (LE90) untuk ketelitian vertikal, mengacu pada Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial (BIG) Nomor 15 Tahun 2014. Kedua nilai tersebut diperoleh melalui perhitungan $CE90 = 1,5175 \times RMSEr$ dan $LE90 = 1,6499 \times RMSEz$, dengan RMSEr dan RMSEz masing-masing diturunkan dari akar rata-rata kuadrat selisih koordinat horizontal (ΔX , ΔY) dan vertikal (ΔZ) antara koordinat hasil pengukuran lapangan (GNSS) dan koordinat hasil ekstraksi pada mosaik ortofoto serta DTM di keempat titik ICP.

Pada uji horizontal, selisih terbesar terjadi pada titik ICP2 dengan simpangan sebesar 5,74 cm, sedangkan selisih terkecil terdapat pada ICP3 sebesar 2,65 cm. Rata-rata kuadrat selisih dari keempat titik menghasilkan RMSEr sebesar 0,040474 m, sehingga diperoleh nilai CE90 sebesar 0,061419 m. Nilai ini menunjukkan bahwa dengan tingkat kepercayaan 90%, kesalahan posisi horizontal objek pada ortofoto terhadap posisi sebenarnya di lapangan tidak melebihi 6,14 cm. Pada uji vertikal, pola yang berbeda ditemukan: selisih terbesar justru terjadi pada ICP3 dengan simpangan 6,38 cm, jauh melampaui tiga titik lainnya yang seluruhnya berada di bawah 1 cm (ICP1 0,10 cm; ICP2 0,63 cm; ICP4 0,14 cm). Kondisi ini mengindikasikan adanya kemungkinan faktor lokal pada titik ICP3, misalnya perbedaan interpretasi elevasi permukaan akibat tutupan vegetasi atau objek non-tanah di sekitar titik tersebut saat proses ekstraksi DTM, meskipun secara keseluruhan nilai tersebut masih tergolong kecil. Rata-rata kuadrat selisih vertikal menghasilkan RMSEz sebesar 0,032089 m, dengan nilai LE90 sebesar 0,052944 m, yang berarti 90% kesalahan tinggi objek pada DTM terhadap tinggi sebenarnya tidak lebih dari 5,29 cm.

Berdasarkan Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014, kelas ketelitian 1 untuk peta skala besar (mis. 1:1.000) mensyaratkan ketelitian horizontal maksimum 0,2 m dan ketelitian vertikal maksimum 0,4 m. Nilai CE90 (0,061 m) dan LE90 (0,053 m) yang diperoleh dalam penelitian ini berada jauh di bawah ambang batas tersebut, sehingga ortofoto dan DTM Desa Cigedug yang

dihasilkan tidak hanya memenuhi, tetapi juga melampaui persyaratan Kelas 1. Hal ini menegaskan bahwa kombinasi GSD kecil (5,23 cm/pixel), distribusi 11 GCP yang merata, dan penggunaan 4 ICP independen berkontribusi signifikan terhadap tingginya ketelitian geometrik produk fotogrametri yang dihasilkan, sehingga layak digunakan sebagai peta dasar mendukung perencanaan pembangunan di tingkat desa.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa teknologi fotogrametri menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Autel EVO II Pro V3 mampu menghasilkan ortofoto beresolusi tinggi yang layak dimanfaatkan sebagai peta dasar Desa Cigedug, Kecamatan Cigedug, Kabupaten Garut. Proses akuisisi data menghasilkan sebanyak 1.463 foto Udara dengan cakupan wilayah sekitar 7,42 km² dan Ground Sampling Distance (GSD) sebesar 5,23 cm/pixel. Hasil pengolahan perangkat lunak Agisoft Metashape menghasilkan RMS reprojection error sebesar 0,43 piksel, yang menunjukkan kualitas orientasi foto dan rekonstruksi geometrik yang baik.

Hasil evaluasi ketelitian geometrik menunjukkan bahwa ortofoto yang dihasilkan memiliki RMSE horizontal sebesar 0,040 m dengan nilai CE90 sebesar 0,061 m, serta RMSE vertikal sebesar 0,032 m dengan nilai LE90 sebesar 0,053 m. Berdasarkan Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014, nilai tersebut memenuhi Kelas 1 untuk ketelitian horizontal maupun vertikal pada peta dasar. Hasil ini menunjukkan bahwa posisi objek pada ortofoto memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap koordinat hasil pengukuran lapangan sehingga produk yang dihasilkan memenuhi standar ketelitian geometrik nasional.

Keberhasilan penelitian ini dipengaruhi oleh kombinasi beberapa faktor, yaitu perencanaan misi terbang yang sesuai, nilai GSD yang kecil, penggunaan 11 Ground Control Point (GCP) yang terdistribusi dengan baik serta 4 Independent Check Point (ICP) menghasilkan orthophoto berkualitas tinggi. Dengan terpenuhinya standar ketelitian Kelas 1, ortofoto hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai peta dasar untuk mendukung berbagai kegiatan, seperti perencanaan pembangunan desa, inventarisasi aset, pemetaan batas administrasi, penyusunan sistem informasi geospasial, dan pengambilan keputusan berbasis data spasial di Desa Cigedug.

Ucapan Terimakasih

1. Ucapan terima kasih kepada Laboratorium Geografi Universitas Pendidikan Indonesia yang telah meminjamkan alat berupa UAV Autel Evo 2 Pro V3 dan satu set GNSS Base dan Receiver E-Survei E300 Pro.
2. Ucapan terima kasih kepada masyarakat Desa

Cigedug yang telah mengizinkan melakukan pengambilan orthophoto dan pengukuran GNSS untuk pengambilan koordinat.

Daftar Pustaka

- Semua rujukan-rujukan yang diacu di dalam teks artikel harus didaftarkan di bagian Daftar Pustaka. Daftar Pustaka harus berisi pustaka-pustaka acuan yang berasal dari sumber primer (jurnal ilmiah) serta berjumlah minimum 80% dari keseluruhan daftar pustaka diterbitkan 10 (sepuluh) tahun terakhir. Setiap artikel paling tidak berisi 10 (sepuluh) daftar pustaka acuan.
- Penulisan Daftar Pustaka sebaiknya menggunakan aplikasi manajemen referensi seperti Mendeley, End Note, Zotero, atau lainnya. Format penulisan yang digunakan di jurnal Informatika Global adalah sesuai dengan format *Harvard - American Psychological Association Style*
- Bondar, S., & Medvedsky, Y. (2025). Assessing the number and placement of ground control points in low-cost UAV photogrammetry. *Transfer of Innovative Technologies*, 7(2), 76–82.
- Deliry, S. I., & Avdan, U. (2024). Accuracy assessment of UAS photogrammetry and structure from motion in surveying and mapping. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 9(2), 165–190.
- Firmansyah, Z., Susilo, Y., dan Wijayanti, R. F. 2025. Perbandingan Metode PPK (Post Processed Kinematic) dan Titik GCP (Ground Control Point) Foto Udara Studi Kasus: Desa Kalipecabean, Kecamatan Candi, Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Geodesi Undip* 14(1): 41–50.
- Haq, M. I., Susilo, Y., Mahardianti, M. A., Prabawa, S. E., dan Yahya, F. 2024. Pemanfaatan Pesawat UAV (Unmanned Aerial Vehicle) untuk Pembuatan Peta Citra Desa dengan Metode Fotogrametri (Studi Kasus: Desa Kalipecabean, Kecamatan Candi, Kabupaten Sidoarjo). *Jurnal Geodesi Undip* 13(2): 495–502.
- Herini, N., Sastra, A. R., dan Anisa, R. 2026. Uji Akurasi Ortofoto dan DEM dari Foto Udara UAV Berdasarkan Variasi Jumlah Ground Control Point. *Journal of Geosurface* 1(1): 32–41.
- Hidayat, H., Deviantari, U. W., Kurniawan, A., Bioresita, F., dan Nurwatik. 2025. Pembuatan Peta Foto Udara Desa Campurejo Skala 1:5000 Menggunakan Metode UAV Photogrammetry. *Geoid* 20(1): 105–118.
- Rachmanto, D. H., dan Ihsan, M. 2020. Pemanfaatan Metode Fotogrametri untuk Pemetaan Skala 1:1000 (Studi Kasus: Universitas Pendidikan Indonesia). *Jurnal ENMAP (Environment & Mapping)* 1(2): 81–86.
- Sondang, V. 2017. Ketelitian Geometrik Foto Udara Format Kecil untuk Pemetaan Skala Besar. *Jurnal Ilmiah Geomatika* 3(2): 45–54.

- Susilo, H., Bani, M. N., dan Fajarwati, A. N. 2023. Analisis Pengaruh Jumlah GCP (Ground Control Point) terhadap Akurasi Peta Orthofoto pada Jalan yang Berkarakter Curam dengan Tikungan Tajam Hasil Pemotretan Udara Metode UAV-Fotogrametri. *Jurnal Qua Teknik* 13(1): 61–74.
- Widjajanti, N., Azizi, I. H., Putraningtyas, M. E. L., Aditya, T., Sutanta, H., Diyono, Andaru, R., Cahyono, B. K., Yulaikhah, dan Wijaya, A. 2026. Integrasi Multisensor UAV (Kamera dan LiDAR) untuk Refinement Ortofoto Berketelitian Tinggi dalam Mendukung Peta Bidang Tanah di Desa Kanoman, Kulon Progo. *Jurnal Ilmiah Geomatika* 6(1): 15–29.