



Pengaruh Penggunaan *Ground Control Point* (GCP) Terhadap Akurasi Peta Situasi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV)

Kezia J. Nainggolan^{#a}, Lucia I. R. Lefrandt^{#b}, Sisca V. Pandey^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^akezianainggolan021@student.unsrat.ac.id, ^blucia.lefrandt@unsrat.ac.id, ^csisca.pandey@unsrat.ac.id

Abstrak

Pemetaan fotogrametri yang menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) telah menjadi metode yang umum diterapkan karena kemampuannya dalam menghasilkan data spasial dengan resolusi tinggi dalam waktu singkat. Akan tetapi, tingkat ketepatan peta sangat bergantung pada pemanfaatan Ground Control Point (GCP). Penelitian ini dimaksudkan untuk mengevaluasi dampak penggunaan GCP terhadap ketelitian peta situasi yang dihasilkan dari pemetaan UAV, serta untuk membandingkan hasil pemetaan dengan dan tanpa GCP. Penelitian ini dilaksanakan di area Universitas Sam Ratulangi, Kota Manado, dengan memanfaatkan citra dari UAV dan data titik kontrol darat yang diproses menggunakan perangkat lunak Agisoft Metashape Professional. Penilaian ketelitian dilakukan berdasarkan parameter Root Mean Square Error (RMSE), Circular Error 90% (CE90), dan Linear Error 90% (LE90). Temuan penelitian mengungkapkan bahwa pemetaan dengan GCP menghasilkan ketelitian horizontal sebesar 0,114 meter dan vertikal sebesar 0,116 meter, sedangkan pemetaan tanpa GCP memberikan ketelitian horizontal sebesar 1,252 meter dan vertikal sebesar 0,545 meter. Temuan ini menegaskan bahwa pemanfaatan GCP secara nyata memperbaiki presisi spasial pada peta hasil pemetaan UAV.

Kata kunci: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), fotogrametri, Ground Control Point (GCP), akurasi peta

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Kemajuan dalam teknologi fotogrametri yang menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) telah memfasilitasi pengadaan data spasial dengan resolusi tinggi secara cepat dan efisien. Pendekatan ini sering diterapkan dalam kegiatan pemetaan topografi serta perencanaan infrastruktur, karena kemampuannya untuk menjangkau wilayah yang luas dengan tingkat ketelitian yang tinggi.

Namun, akurasi peta yang dihasilkan dari pemetaan UAV sangat bergantung pada teknik georeferensi yang diterapkan. Pemanfaatan *Ground Control Point* (GCP) memainkan peran krusial dalam memperbaiki ketepatan posisi baik secara horizontal maupun vertikal, sementara pemetaan tanpa GCP yang hanya bergantung pada GPS internal UAV berisiko menimbulkan penyimpangan koordinat yang lebih signifikan.

Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang membandingkan akurasi hasil pemetaan UAV dengan dan tanpa penggunaan GCP. Penelitian ini bertujuan untuk menelaah dampak GCP pada presisi peta situasi, dengan menggunakan parameter RMSE, CE90, dan LE90 sebagai tolok ukur penilaian akurasi spasial.

1.2. Rumusan Masalah

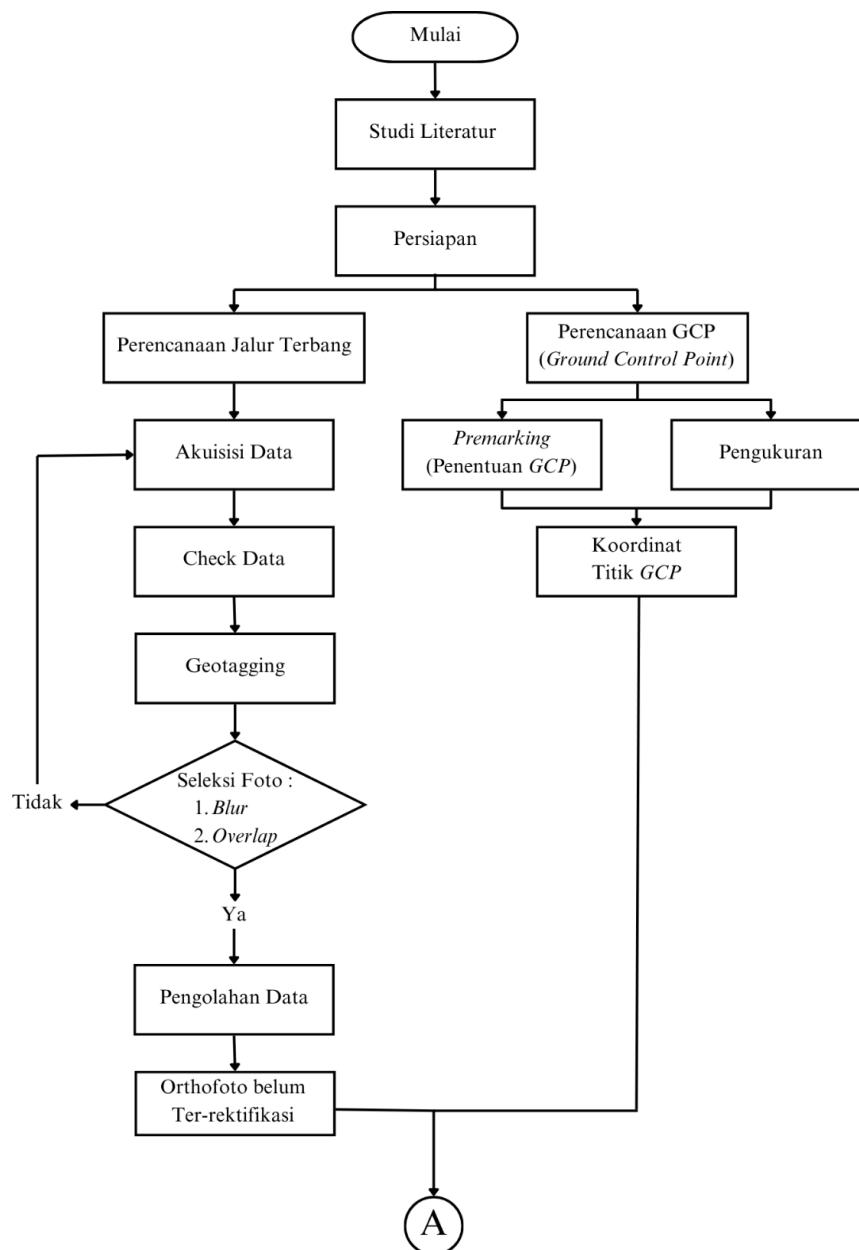
1. Bagaimana pengaruh penggunaan GCP terhadap akurasi peta situasi hasil pemetaan dengan UAV Fotogrametri?
2. Sejauh mana perbedaan akurasi peta situasi antara hasil pemetaan dengan GCP dan tanpa GCP?

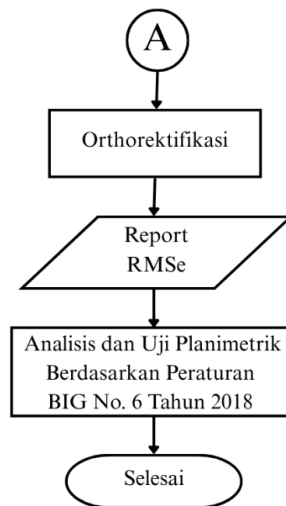
1.3. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh penggunaan GCP terhadap peningkatan akurasi peta situasi hasil pemetaan dengan UAV Fotogrametri.
2. Mengukur dan membandingkan perbedaan tingkat akurasi peta situasi antara hasil pemetaan yang menggunakan GCP dengan yang tidak menggunakan GCP.

2. Metode

Desain penelitian yang dilakukan dengan menggunakan tahapan kerangka kerja sebagai berikut :





Gambar 1. Diagram Alir Kegiatan Penelitian

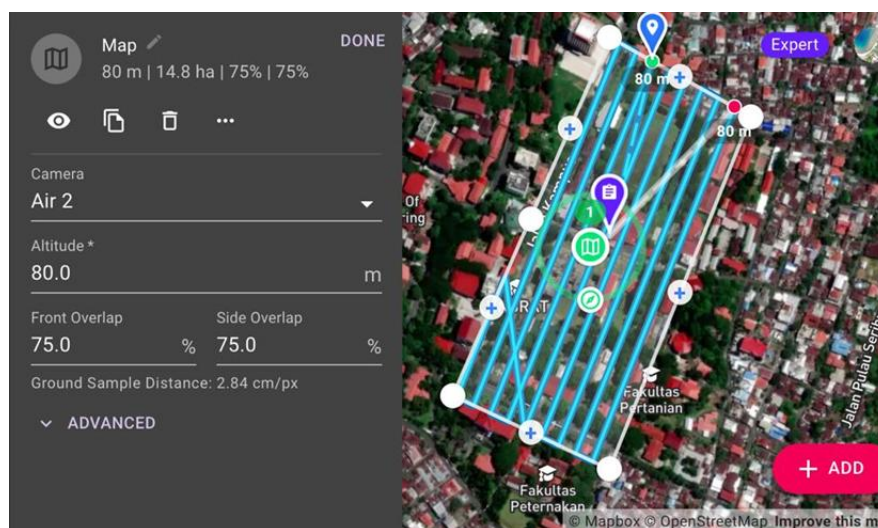
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Gambaran Umum Penelitian

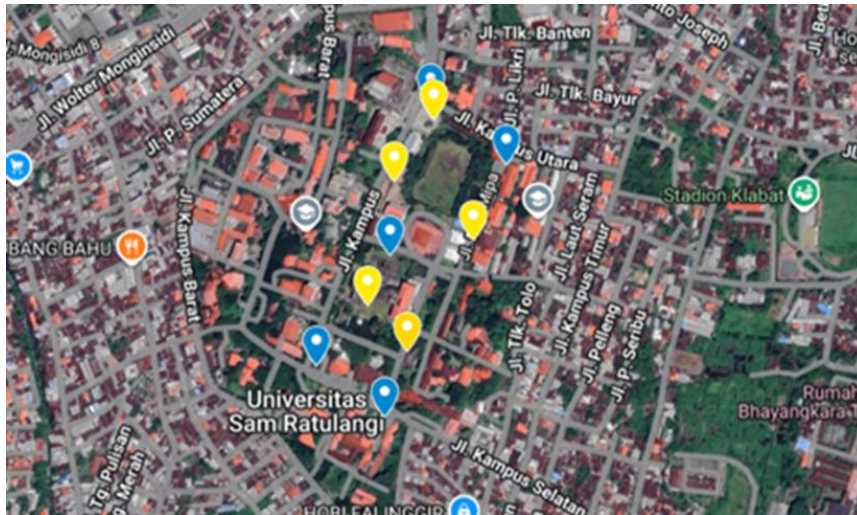
Penelitian ini dilakukan di area Universitas Sam Ratulangi, Kota Manado. Pemetaan menggunakan teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) untuk mendapatkan citra udara dengan resolusi tinggi, serta GPS geodetik guna mengukur titik kontrol tanah (Ground Control Point/GCP) dan titik pengujian. Kajian ini dimulai dengan fase persiapan dan perencanaan, diikuti oleh pengumpulan data foto udara melalui UAV, dan kemudian dilanjutkan dengan pemrosesan data fotogrametri untuk menghasilkan peta situasi, baik dengan maupun tanpa penerapan GCP, sebagai dasar untuk analisis perbandingan akurasi.

3.2. Persiapan Pengukuran

Tahap persiapan dilakukan sebelum pengumpulan data lapangan, meliputi penyiapan peralatan, perencanaan jalur terbang UAV, serta perancangan distribusi Ground Control Point (GCP) dan Independent Check Point (ICP). Perencanaan jalur terbang dilakukan menggunakan perangkat lunak Dronelink dan DJI Fly untuk menentukan lintasan penerbangan, orientasi kamera, dan ketinggian terbang dengan mempertimbangkan kondisi topografi, rintangan, dan arah angin. Distribusi GCP dan ICP dirancang secara merata di area pemetaan untuk mendukung ketelitian hasil pemetaan UAV.



Gambar 2. Perencanaan Jalur Terbang (Drone Link/DJI Fly)



Gambar 3. Desain Distribusi Titik GCP dan ICP (Google Maps)

3.3. Pengukuran Titik Kontrol Tanah (GCP dan ICP)

Pengukuran titik kontrol tanah dimulai dengan penempatan 5 titik *Ground Control Point* (GCP) dan 5 titik *Independent Check Point* (ICP) berdasarkan rencana yang telah disusun sebelumnya. Masing-masing titik dilengkapi dengan penanda fisik berbentuk premark berukuran 1×1 meter dengan warna kontras (biru terang), yang ditempatkan di lokasi yang rata, terbuka, dan tidak terhalang pandangan untuk memfasilitasi pengenalan pada gambar udara. Setelah penempatan selesai, dilakukan verifikasi visibilitas menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV).

Selanjutnya, pengukuran koordinat GCP dan ICP dilakukan dengan alat GPS Geodetik Leica Zeno GG04 melalui metode statik, di mana stasiun dasar diamati selama sekitar satu jam, sedangkan pengamatan di setiap titik berlangsung antara 10 hingga 15 menit. Data pengamatan tersebut kemudian diolah menggunakan perangkat lunak GNSS untuk mendapatkan koordinat Easting (X), Northing (Y), dan Elevasi (Z), yang selanjutnya dimanfaatkan dalam pemrosesan data fotogrametri serta evaluasi akurasi spasial.

Tabel 1. Koordinat Titik Kontrol Hasil Pengukuran Lapangan

No	Kode Titik	Easting X (m)	Northing Y (m)	Elevation Z(m)
1	GCP 01	703420.462	160947.676	97.282
2	GCP 02	703299.915	161035.163	94.671
3	GCP 03	703427.836	161241.283	93.973
4	GCP 04	703591.246	161286.833	92.619
5	GCP 05	703493.013	161503.712	98.304
6	ICP 01	703467.241	161038.464	95.437
7	ICP 02	703390.3	161140.825	94.518
8	ICP 03	703441.892	161362.154	93.566
9	ICP 04	703578.737	161257.93	92.494
10	ICP 05	703482.154	161471.34	96.983

3.4. Penerbangan UAV dan Pengambilan Citra Udara

Setelah pengukuran seluruh titik GCP dan ICP selesai, pengumpulan data citra udara dilakukan menggunakan UAV DJI Mavic Pro 2 dengan metode *mapping*. Penerbangan UAV dilakukan pada ketinggian sekitar 80 meter di atas permukaan tanah (AGL), dengan pengaturan *frontlap* 75% dan *sidelap* 75%, kecepatan terbang 5 m/s, serta mode pemotretan nadir (90 derajat terhadap permukaan tanah). Jalur penerbangan dirancang menggunakan pola parallel strip yang mengikuti sumbu panjang wilayah pemetaan untuk memastikan cakupan area dan kualitas citra yang optimal. Total citra udara yang diperoleh berjumlah 243 foto, dengan beberapa contoh citra udara ditampilkan sebagai sampel dari hasil pemotretan UAV.



Gambar 4. Sampel Hasil Citra Udara

3.5. Perhitungan Ground Sampling Distance (GSD)

Sebelum memproses citra udara, nilai Ground Sampling Distance (GSD) dihitung untuk menentukan luas area permukaan tanah yang diwakili oleh setiap piksel dalam citra. Perhitungan nilai GSD dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$GSD = \frac{H \times p}{f}$$

dengan keterangan:

- H = tinggi terbang UAV (mm)
- P = ukuran piksel sensor kamera (mm)
- F = panjang fokus kamera (mm)

Berdasarkan parameter pengambilan citra, yaitu tinggi terbang UAV sebesar 80 m (80.000 mm), ukuran piksel sensor 0,00162 mm, dan panjang fokus kamera 4,5 mm, diperoleh nilai GSD sebagai berikut:

$$GSD = \frac{H \times p}{f} = \frac{80.000 \times 0,00162}{4,5} = 28,8 \frac{mm}{piksel} = 2,88 \text{ cm/piksel}$$

Perhitungan menunjukkan bahwa setiap piksel dalam citra udara mewakili luas area 2,88 cm × 2,88 cm pada permukaan tanah. Nilai GSD tersebut berfungsi sebagai landasan untuk menentukan resolusi spasial dari hasil pemetaan, serta sebagai pedoman akurasi dalam tahap pemrosesan data berikutnya.

3.6. Pengolahan Data

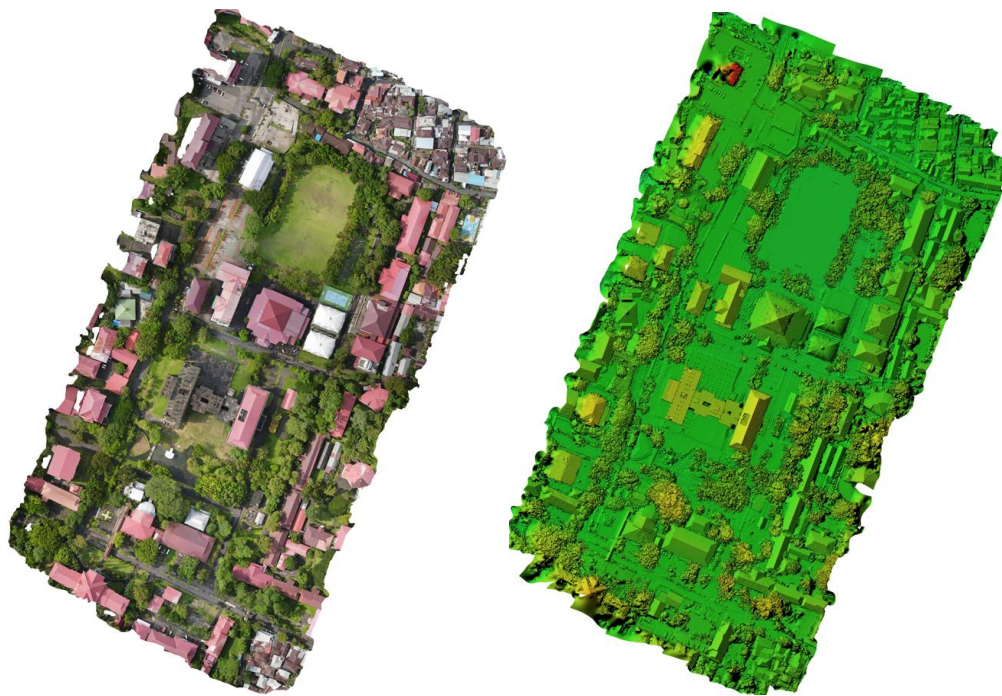
Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software* Agisoft Metashape untuk menghasilkan produk fotogrametri, yaitu *orthomosaic* dan *Digital Elevation Model* (DEM).



Gambar 5. Proses pengolahan data Agisoft Metashape

Proses pengolahan dimulai dengan tahap *image alignment*, di mana seluruh gambar udara diselaraskan berdasarkan data geotag dan pembentukan *tie points*. Setelah itu, dilakukan pembuatan *dense point cloud* dan DEM awal, yang selanjutnya digunakan untuk menghasilkan ortofoto yang belum terkorektifikasi.

Dalam konteks pemetaan yang melibatkan penggunaan GCP, koordinat GCP dimasukkan ke dalam proses pengolahan untuk melakukan ortorektifikasi, sehingga akurasi geometrik hasil pemetaan dapat meningkat. Hasil akhir berupa ortomosaik dan DEM kemudian digunakan dalam analisis akurasi spasial melalui penghitungan RMSE, CE90, dan LE90.



Gambar 6. Orthomosaic dan DEM

3.7. Pengolahan Data

Pengujian akurasi dilakukan untuk menilai tingkat ketelitian citra hasil orthofoto melalui evaluasi ketepatan posisi berdasarkan selisih koordinat horizontal (X, Y) dan elevasi (Z) antara titik uji pada peta atau citra dengan posisi sebenarnya di permukaan bumi. Penilaian ketelitian geometrik tersebut dilakukan dengan mengacu pada Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018.

Tabel 2. Ketelitian Geometri Peta RBI

No	Skala	Interval Kontur (m)	Ketelitian peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			CE90 (m)	LE90 (m)	CE90 (m)	LE90 (m)	CE90 (m)	LE90 (m)
1	1:1.000.000	400	300	200	600	300	900	400
2	1:500.000	200	150	100	300	150	450	200
3	1:250.000	100	75	50	150	75	225	100
4	1:100.000	40	30	20	60	30	90	40
5	1:50.000	20	15	10	30	15	45	20
6	1:25.000	10	7,5	5	15	7,5	22,5	10
7	1:10.000	4	3	2	6	3	9	4
8	1:5.000	2	1,5	1	3	1,5	4,5	2
9	1:2.500	1	0,75	0,5	1,5	0,75	2,25	1
10	1:1.000	0,4	0,3	0,2	0,6	0,3	0,9	0,4

Nilai CE90 dan LE90 dihitung dengan mengacu pada standar United States National Map Accuracy Standards (US NMAS), yang menetapkan hubungan antara nilai ketelitian dan besaran galat posisi. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan:

$$CE90 = 1.5175 \times RMSEr$$

$$LE90 = 1.6499 \times RMSEz$$

dengan keterangan:

- $RMSEr$ = RMSE pada posisi x dan y (horizontal)
- $RMSEz$ = RMSE pada posisi z (vertikal)

Berdasarkan hasil perhitungan selisih koordinat antara titik uji dan data referensi, disajikan tabel perhitungan $RMSEr$ untuk menggambarkan besarnya galat posisi horizontal. Nilai $RMSEr$ tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan CE90 sebagai indikator ketelitian horizontal peta dasar dengan tingkat kepercayaan 90%. Selain itu, disajikan pula tabel perhitungan $RMSEz$ yang menunjukkan galat posisi vertikal berdasarkan selisih nilai elevasi, di mana nilai $RMSEz$ digunakan dalam perhitungan LE90 untuk menggambarkan tingkat ketelitian vertikal peta dasar dengan tingkat kepercayaan yang sama.

Tabel 3. Uji Ketelitian Horizontal

Nama Titik	$X_{ICP,i}$	$X_{Orto,i}$	ΔX_i	$(\Delta X_i)^2$	$Y_{ICP,i}$	$Y_{Orto,i}$	ΔY_i	$(\Delta Y_i)^2$	$(\Delta X_i)^2 + (\Delta Y_i)^2$
ICP01	703467.241	703467.123	-0.111	0.012	161038.464	161038.429	-0.034	0.001	0.0136
ICP02	703390.300	703390.303	0.003	0.000	161140.825	161140.823	-0.002	0.000	0.0000
ICP03	703441.892	703441.951	0.059	0.003	161362.154	161362.193	0.039	0.002	0.0050
ICP04	703578.737	703578.722	-0.015	0.000	161257.930	161258.072	0.142	0.020	0.0203
ICP05	703482.154	703482.164	0.010	0.000	161471.340	161471.502	0.162	0.026	0.0264
Jumlah									0.065
Mean									0.013
RMSEr									0.114
CE90									0.173

Tabel 4. Uji Ketelitian Vertikal

Nama Titik	$Z_{ICP,i}$	$Z_{DEM,i}$	ΔZ_i	$(\Delta Z_i)^2$
ICP01	95.437	95.301	-0.136	0.018
ICP02	94.518	94.415	-0.103	0.011
ICP03	93.566	93.645	0.079	0.006
ICP04	92.494	92.342	-0.152	0.023
ICP05	96.983	96.889	-0.094	0.009
Jumlah				0.067
Rata-Rata				0.013
RMSEZ				0.116
LE90				0.191

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai ketelitian horizontal (CE90) sebesar 0,114 m dan ketelitian vertikal (LE90) sebesar 0,116 m menunjukkan bahwa peta hasil pemetaan UAV dengan penggunaan Ground Control Point (GCP) telah memenuhi ketelitian Kelas 1 untuk peta skala 1:1.000 sesuai dengan Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018.

3.8. Perbandingan Akurasi Pemetaan dengan dan tanpa Penggunaan GCP

Sebagai pembandingan terhadap hasil pemetaan dengan penggunaan *Ground Control Point* (GCP), berikut disajikan hasil analisis kesalahan posisi pada pemetaan UAV yang dilakukan tanpa penggunaan GCP.

Tabel 5. Hasil Report Pengolahan Data Tanpa Ground Control Point (GCP)

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
0.610488	1.09293	0.545457	1.25187	1.36554

Pemetaan tanpa menggunakan Ground Control Point (GCP) menunjukkan akurasi horizontal sebesar 1,252 m dan akurasi vertikal sebesar 0,545 m. Dibandingkan dengan pemetaan menggunakan GCP, hasil tersebut memiliki selisih kesalahan sebesar 1,138 m pada arah horizontal dan 0,429 m pada arah vertikal, yang menegaskan penurunan ketelitian spasial pada pemetaan tanpa GCP.

4. Kesimpulan

1. Penggunaan GCP terbukti berpengaruh signifikan terhadap peningkatan akurasi spasial. Hasil pemetaan dengan GCP menunjukkan nilai RMSE horizontal dan vertikal yang lebih kecil dibandingkan pemetaan tanpa GCP, menandakan peningkatan ketelitian baik secara planimetrik maupun altimetrik.
2. Hasil analisis menunjukkan bahwa integrasi Ground Control Point (GCP) secara signifikan meningkatkan akurasi dibandingkan pemetaan tanpa GCP. Penggunaan GCP menghasilkan akurasi horizontal sebesar 0,114 m dan vertikal 0,116 m, sedangkan pemetaan tanpa GCP hanya mencapai akurasi horizontal 1,252 m dan vertikal 0,545 m. Secara komparatif, keberadaan GCP mampu mereduksi kesalahan posisi hingga 1,138 m pada aspek horizontal dan 0,429 m pada vertikal, yang menegaskan perannya dalam meminimalkan deviasi koordinat serta meningkatkan ketelitian spasial hasil pemetaan UAV.

Referensi

Abdullah, Q. (2023). The ASPRS Positional Accuracy Standards, Edition 2: The Geospatial Mapping Industry Guide to Best Practices. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 89(10), 581–588.

- Adeoye, M. A. (2024). Mastering the Basics: A Guide to Research Methodology for Effective Writing and Publication. *Chalim Journal of Teaching and Learning*, 4(1), 30–41.
- Agüera-Vega, F., Martínez-Carricondo, P., & Carvajal-Ramírez, F. (2023). Enhancing Uav-Sfm 3d Models Accuracy Of Unique Heritage Infrastructures. Case Of Isabel Ii Dam, Almeria, Spain. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-M-2–2023, 51–57.
- Ait-Lamallam, S., Lamrani, R., Mastari, W., & Kechna, M. (2025). Effective Strategies for Mitigating the “Bowl” Effect and Optimising Accuracy: A Case Study of UAV Photogrammetry in Corridor Projects. *Drones*, 9(6), 387.
- Andre Febrianto, Rusdy A Siroj, & Hartatiana. (2024). Studi Literatur: Landasan Dalam Memilih Metode Penelitian Yang Tepat. *Journal Educational Research and Development* | E-ISSN : 3063-9158, 1(2), 259–263.
- Andrew, A. S. (2020). Pemanfaatan Drone dalam Pemetaan Kontur Tanah. *Buletin Loupe*, 16(02), 32–41.
- Arévalo-Verjel, A. N., Lerma, J. L., Carbonell-Rivera, J. P., Prieto, J. F., & Fernández, J. (2025). Assessment of Photogrammetric Performance Test on Large Areas by Using a Rolling Shutter Camera Equipped in a Multi-Rotor UAV. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(9), 1–25.
- ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. (2015). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(3), 1–26.
- Atik, M. E., & Arkali, M. (2024). Comparative Assessment of the Effect of Positioning Techniques and Ground Control Point Distribution Models on the Accuracy of UAV-Based Photogrammetric Production. *Drones*, 9(1), 15.
- Atik, M. E., Arkali, M., & Atik, S. O. (2025). Impact of UAV-Derived RTK/PPK Products on Geometric Correction of VHR Satellite Imagery. *Drones*, 9(4), 291.
- Cabo, C., Sanz-Ablanedo, E., Roca-Pardinas, J., & Ordonez, C. (2021). Influence of the Number and Spatial Distribution of Ground Control Points in the Accuracy of UAV-SfM DEMs: An Approach Based on Generalized Additive Models. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59(12), 10618–10627.
- Cho, J., Jeong, S., & Lee, B. (2025). Optimal ground control point layout for UAV photogrammetry in high precision 3D mapping. *Measurement*, 118343.
- Cho, J. M., & Lee, B. K. (2023). GCP and PPK Utilization Plan to Deal with RTK Signal Interruption in RTK-UAV Photogrammetry. *Drones*, 7(4), 265.
- Dhruva, A., Hartley, R. J. L., Redpath, T. A. N., Estarija, H. J. C., Cajés, D., & Massam, P. D. (2024). Effective UAV Photogrammetry for Forest Management: New Insights on Side Overlap and Flight Parameters. *Forests*, 15(12), 1–19.
- Ferrer-González, E., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., & Martínez-Carricondo, P. (2020). UAV Photogrammetry Accuracy Assessment for Corridor Mapping Based on the Number and Distribution of Ground Control Points. *Remote Sensing*, 12(15), 2447.
- Han, S., & Han, D. (2024). Enhancing Direct Georeferencing Using Real-Time Kinematic UAVs and Structure from Motion-Based Photogrammetry for Large-Scale Infrastructure. *Drones*, 8(12), 736.
- Hsieh, C.-S., Hsiao, D.-H., & Lin, D.-Y. (2023). Contour Mission Flight Planning of UAV for Photogrammetric in Hillside Areas. *Applied Sciences*, 13(13), 7666.
- Jo, I., Lee, Y., Ham, N., Kim, J., & Kim, J. J. (2025). A Quantitative Evaluation of UAV Flight Parameters for SfM-Based 3D Reconstruction of Buildings. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(13), 1–29.
- Kameyama, S. (2025). Influence of Ground Control Point Placement and Surrounding Environment on Unmanned Aerial Vehicle-Based Structure-from-Motion Forest Resource Estimation. *Drones*, 9(4), 258.
- Kim, H., Hyun, C.-U., Park, H.-D., & Cha, J. (2023). Image Mapping Accuracy Evaluation Using UAV with Standalone, Differential (RTK), and PPP GNSS Positioning Techniques in an Abandoned Mine Site. *Sensors*, 23(13), 5858.
- Kostrzewa, A., Płatek-Żak, A., Banat, P., & Wilk, Ł. (2025). Open-Source vs. Commercial Photogrammetry: Comparing Accuracy and Efficiency of OpenDroneMap and Agisoft Metashape. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-1/W4-2025, 65–72.
- Kovanič, L., Topitzer, B., Peťovský, P., Blišťan, P., Gergeľová, M. B., & Blišťanová, M. (2023). Review of Photogrammetric and Lidar Applications of UAV. *Applied Sciences*, 13(11), 6732.
- Lesawengen, V. F., Jansen, F., & Manoppo, F. J. (2019). Minimalisasi Kesalahan Survey Topografi Dalam Pemetaan Digital Dengan Koordinat Global Menggunakan Autocad Land Desktop Dan Geographic Information System.
- Maes, W. H. (2025). Practical Guidelines for Performing UAV Mapping Flights with Snapshot Sensors. *Remote Sensing*, 17(4), 606.
- Oniga, V.-E., Breaban, A.-I., Pfeifer, N., & Chirila, C. (2020). Determining the Suitable Number of Ground Control Points for UAS Images Georeferencing by Varying Number and Spatial Distribution. *Remote Sensing*, 12(5), 876.

- Pepe, M., Alfio, V. S., & Costantino, D. (2022). UAV Platforms and the SfM-MVS Approach in the 3D Surveys and Modelling: A Review in the Cultural Heritage Field. *Applied Sciences*, 12(24), 12886.
- Pinatik, N. Y., & Papilaya, F. S. (2024). PENGOLAHAN FOTO UDARA UAV (UNMANNED AERIAL VEHICLE) MENGGUNAKAN SOFTWARE AGISOFT METASHAPE. *JURNAL PERANGKAT LUNAK*, 6(1), 1–11.
- Pipitone, C., Maltese, A., Lo Brutto, M., & Dardanelli, G. (2023). A Review of Selected Applications of GNSS CORS and Related Experiences at the University of Palermo (Italy). *Remote Sensing*, 15(22), 5343.
- Pirti, A., & Eren, M. (2025). Positional accuracy evaluation of CORS VRS, PPK, static GPS + GLONASS, and total station surveys in urban areas. *Nova Geodesia*, 5(1), 285.
- Prayogo, I. P. H., Manoppo, F. J., & Lefrandt, L. I. R. (2020). Pemanfaatan Teknologi Unmanned Aerial Vehicle (Uav) Quadcopter Dalam Pemetaan Digital (Fotogrametri) Menggunakan Kerangka Ground Control Point (Gcp).
- Purba, R., Hasan, H., & Sasmito, K. (2022). Pengaruh Penggunaan Ground Control Point dalam Pengolahan Foto Udara Pada PT Internasional Prima Coal Sub PT Coalindo Adhi Perkasa Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Mineral Ft Unmul*, 10(1), 1–7.
- Rabiu, L., & Ahmad, A. (2023). UNMANNED AERIAL VEHICLE PHOTOGRAMMETRIC PRODUCTS ACCURACY ASSESSMENT: A REVIEW. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-4/W6-2022, 279–288.
- Ridha, M. H., Arifin, Y. F., & Abdi, A. S. (2025). Optimizing ground control points for UAV photogrammetry: A case study in slope stability mapping. *Communications in Science and Technology*, 10(1), 170–178.
- Runtuwuwu, S., Waney, E. V. Y., Sompie, T. P. F., & Tompunu, F. A. I. (2024). Utilization of Small Unmanned Aerial Vehicle(SUAV) Technology in Mapping the Lake Tondano Ring Road at STA 0 + 00 to Sta 21 + 100. In M. U. H. Al Rasyid & M. R. Mufid (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Applied Science and Technology on Engineering Science 2023 (iCAST-ES 2023)* (Vol. 230, pp. 758–772). Atlantis Press International BV.
- Shupe, E., Unger, D., Kulhavy, D., Hung, I.-K., Zhang, Y., & Kim, J. (2025). Evaluating Orthophoto Mosaic Accuracy Using RTK UAVs and AeroPoints 2 Ground Control Points: A User's Perspective. *Drones and Autonomous Vehicles*, 2(2), 10009–10009.
- Slamet, B., Affandi, O., Mardianta, A. V., Sembiring, R. A., Lubis, M. S., Indrawan, I., & Arinah, H. (n.d.). Pemanfaatan Drone Untuk Pemetaan Dalam Mendukung Data Desa Presisi Di Desa Rumah Sumbul Sibolangit Kabupaten Deliserdang.
- Sompie, T. P. F., Makangiras, R. E., Sumajouw, J. A. J., & Hombokau, C. (2024). Application of Unmanned Aerial Vehicle and Ground Control Point for Mapping and Road Geometric Review: A Case Study: Pandu – Kima Atas Street. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(4), 15986–15992.
- Sumaamijaya, A. K., & Attalla, M. G. (n.d.). Study of Quality Control for Mapping Product: Aerial Photogrammetry Data Acquisition Using UAV (Unmanned Aerial Vehicle) Based on SNI 9135-1: 2022.
- Susilo, H., Novianti Bani, M., & Nur Fajarwati, A. (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 Teknika*, 13(1), 61–74.
- Szypuła, B. (2024). Accuracy of UAV-based DEMs without ground control points. *GeoInformatica*, 28(1), 1–28. <https://doi.org/10.1007/s10707-023-00498-1>
- Tsachouridis, S., Pavloudakis, F., Sachpazis, C., & Tsioukas, V. (2025). Monitoring Slope Stability: A Comprehensive Review of UAV Applications in Open-Pit Mining. *Land*, 14(6), 10–13. \
- Ulvi, A. (2021). The effect of the distribution and numbers of ground control points on the precision of producing orthophoto maps with an unmanned aerial vehicle. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 20(6), 806–817.
- Wang, Z., Shi, L., Li, J., Dai, W., Lu, W., & Li, M. (2025). The Synergistic Effects of GCPs and Camera Calibration Models on UAV-SfM Photogrammetry. *Drones*, 9(5), 343.
- Yu, J. J., Kim, D. W., Lee, E. J., & Son, S. W. (2020). Determining the optimal number of ground control points for varying study sites through accuracy evaluation of unmanned aerial system-based 3d point clouds and digital surface models. *Drones*, 4(3), 1–19.
- Yuwono, B. D. (n.d.). Teknologi Pemetaan Digital Untuk Pengembangan Kawasan Pemukiman Perumahan (Studi Kasus : Bukit Semarang Baru- Semarang).
- Zeybek, M., Taşkaya, S., Elkhachy, I., & Tarolli, P. (2023). Improving the Spatial Accuracy of UAV Platforms Using Direct Georeferencing Methods: An Application for Steep Slopes. *Remote Sensing*, 15(10), 2700.
- Zhang, K., Okazawa, H., Hayashi, K., Hayashi, T., Fiwa, L., & Maskey, S. (2022). Optimization of Ground Control Point Distribution for Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry for Inaccessible Fields. *Sustainability*, 14(15), 9505.
- Zhang, S., Liu, C., & Haala, N. (2024). Guided by model quality: UAV path planning for complete and

precise 3D reconstruction of complex buildings. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 127, 103667.

Zhao, H., Li, G., Chen, Z., Zhang, S., Zhang, B., & Cheng, X. (2024). Impacts of GCP Distributions on UAV-PPK Photogrammetry at Sermeq Avannarleq Glacier, Greenland. *Remote Sensing*, 16(21), 3934.