Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.4, Oktober 2026 Hal 21678 - 21686
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

Analisis Ketelitian Geometrik Orthophoto Hasil Fotogrametri UAV untuk Pemetaan Bidang Tanah melalui Perbandingan Metode PPK Non-GCP dan PPK Dengan GCP

Ade Rizky Prabowo, Moh. Abdul Basyid

Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional, Bandung
*__Koresponden email__: deryzkee@gmail.com, basyid@itenas.ac.id

Diterima: 16 Agustus 2026 Disetujui: 25 Agustus 2026

Abstract
UAV-derived orthophotos are increasingly used as a base for cadastral mapping, including PTSL. Choosing between Post Processing Kinematic (PPK) Non-GCP and PPK with Ground Control Point (PPK+GCP) requires empirical evaluation, as adding GCP can improve some accuracy components while affecting others. This study compares orthophoto geometric accuracy from both methods against the 2026 Integrated PTSL Technical Guidelines in Belotan Village, Bendo District, Magetan Regency, using a FARM Mapper VTOL V2 PPK UAV with a Sony A7R Mark II camera. Two scenarios were tested: PPK Non-GCP and PPK+GCP (six GCPs), with identical photogrammetric parameters and the same 15 ICPs. Accuracy was computed via RMSE, CE90, and LE90, tested with Shapiro-Wilk and paired difference tests. Scenario 1 gave horizontal RMSE 0.133 m, CE90 0.202 m, vertical RMSE 0.270 m, and LE90 0.446 m. Scenario 2 gave better horizontal accuracy (RMSE 0.115 m; CE90 0.174 m) but lower vertical accuracy (RMSE 0.392 m; LE90 0.646 m). The horizontal difference was significant (p=0.0169); the DSM-based vertical difference was also significant but opposite in direction (p=0.0413). Both scenarios met the 2026 PTSL thresholds. PPK Non-GCP is a feasible, efficient alternative for PTSL base mapping in similar areas.
Keywords: *uav orthophoto, post processing kinematic, ground control point*

Abstrak
Orthophoto hasil fotogrametri UAV semakin banyak dimanfaatkan sebagai dasar pemetaan pertanahan, termasuk PTSL. Pemilihan metode georeferencing antara Post Processing Kinematic (PPK) Non-GCP dan PPK dengan *Ground Control Point* (PPK+GCP) memerlukan pengujian empiris karena penambahan GCP dapat memperbaiki ketelitian tertentu sekaligus memengaruhi komponen lain. Penelitian ini membandingkan ketelitian geometrik orthophoto kedua metode terhadap Juknis PTSL Terintegrasi 2026 di Desa Belotan, Kecamatan Bendo, Kabupaten Magetan, menggunakan UAV FARM Mapper VTOL V2 PPK berkamera Sony A7R Mark II. Dua skenario diuji: PPK Non-GCP dan PPK+GCP (enam GCP), dengan parameter fotogrametri identik dan 15 ICP yang sama. Ketelitian dihitung via RMSE, CE90, dan LE90, lalu diuji Shapiro-Wilk dan uji beda berpasangan. Skenario 1 menghasilkan RMSE horizontal 0,133 m, CE90 0,202 m, RMSE vertikal 0,270 m, dan LE90 0,446 m. Skenario 2 menghasilkan ketelitian horizontal lebih baik (RMSE 0,115 m; CE90 0,174 m) tetapi vertikal lebih rendah (RMSE 0,392 m; LE90 0,646 m). Perbedaan horizontal signifikan (Paired T-Test, p=0,0169); perbedaan vertikal berbasis DSM juga signifikan namun berarah sebaliknya (Wilcoxon, p=0,0413). Kedua skenario memenuhi ambang Juknis PTSL 2026. PPK Non-GCP berpotensi menjadi alternatif layak dan efisien untuk pemetaan dasar PTSL pada wilayah berkarakteristik serupa, dengan tetap mempertimbangkan prioritas ketelitian horizontal dan vertikal.
Kata Kunci: *uav orthophoto, kinematika pasca pemrosesan, titik kontrol tanah*

1. Pendahuluan

Perkembangan fotogrametri berbasis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) telah memperluas penggunaan foto udara untuk pemetaan detail karena mampu menghasilkan orthophoto dan model elevasi dengan resolusi spasial tinggi dalam waktu akuisisi yang relatif singkat. Kemajuan sistem GNSS pada wahana UAV, khususnya teknologi Post Processing Kinematic (PPK), juga memungkinkan posisi kamera ditentukan dengan ketelitian tinggi sehingga kebutuhan terhadap *Ground Control Point* (GCP) dapat dikurangi. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa strategi georeferencing berbasis GNSS pada UAV dapat menghasilkan produk fotogrametri yang memenuhi kebutuhan akurasi tertentu tanpa GCP, tetapi

kinerjanya tetap dipengaruhi oleh konfigurasi jaringan foto, kualitas solusi GNSS, topografi, dan karakteristik permukaan [1–5].

Pada pemetaan pertanahan, persoalan tersebut menjadi lebih penting karena orthophoto tidak hanya dituntut memiliki resolusi visual yang baik, tetapi juga ketelitian posisi yang dapat dipertanggungjawabkan sebagai dasar identifikasi bidang tanah. Penelitian terdahulu menunjukkan hasil yang belum sepenuhnya konsisten. Štroner et al. [1] menunjukkan kelayakan georeferencing UAV berbasis GNSS tanpa GCP pada kondisi tertentu, sedangkan Žabota dan Kobal [6] serta Susilo et al. [7] menunjukkan bahwa konfigurasi dan jumlah GCP dapat berpengaruh terhadap ketelitian produk. Di Indonesia, Firmansyah et al. [8] melaporkan bahwa metode PPK tanpa GCP pada lokasi tertentu menghasilkan CE90 yang lebih besar dibandingkan skema dengan GCP. Sebaliknya, penelitian lain menunjukkan bahwa PPK dapat digunakan untuk mempercepat pemetaan bidang tanah dan menghasilkan ketelitian yang memadai [9–11]. Perbedaan temuan tersebut menunjukkan bahwa manfaat penambahan GCP tidak dapat diasumsikan bersifat universal.

Persoalan tersebut memperoleh konteks baru melalui Petunjuk Teknis Pengumpulan Data Fisik PTSL Terintegrasi (Pembuatan Foto Tegak) Tahun 2026, yang menetapkan ambang ketelitian berupa GSD $\leq 0{,}12$ m, CE90 $\leq 0{,}40$ m, dan LE90 $\leq 2{,}00$ m, sementara ICP digunakan sebagai instrumen kontrol kualitas dan GCP bersifat kondisional [12]. Standar tersebut memberikan ruang bagi penggunaan metode georeferencing yang lebih efisien, tetapi sekaligus menuntut pembuktian empiris bahwa produk tanpa GCP tetap memenuhi ambang ketelitian. Dengan demikian, perbandingan PPK Non-GCP dan PPK+GCP tidak cukup dilakukan berdasarkan nilai akurasi absolut saja, tetapi juga perlu menguji apakah perbedaannya signifikan secara statistik.

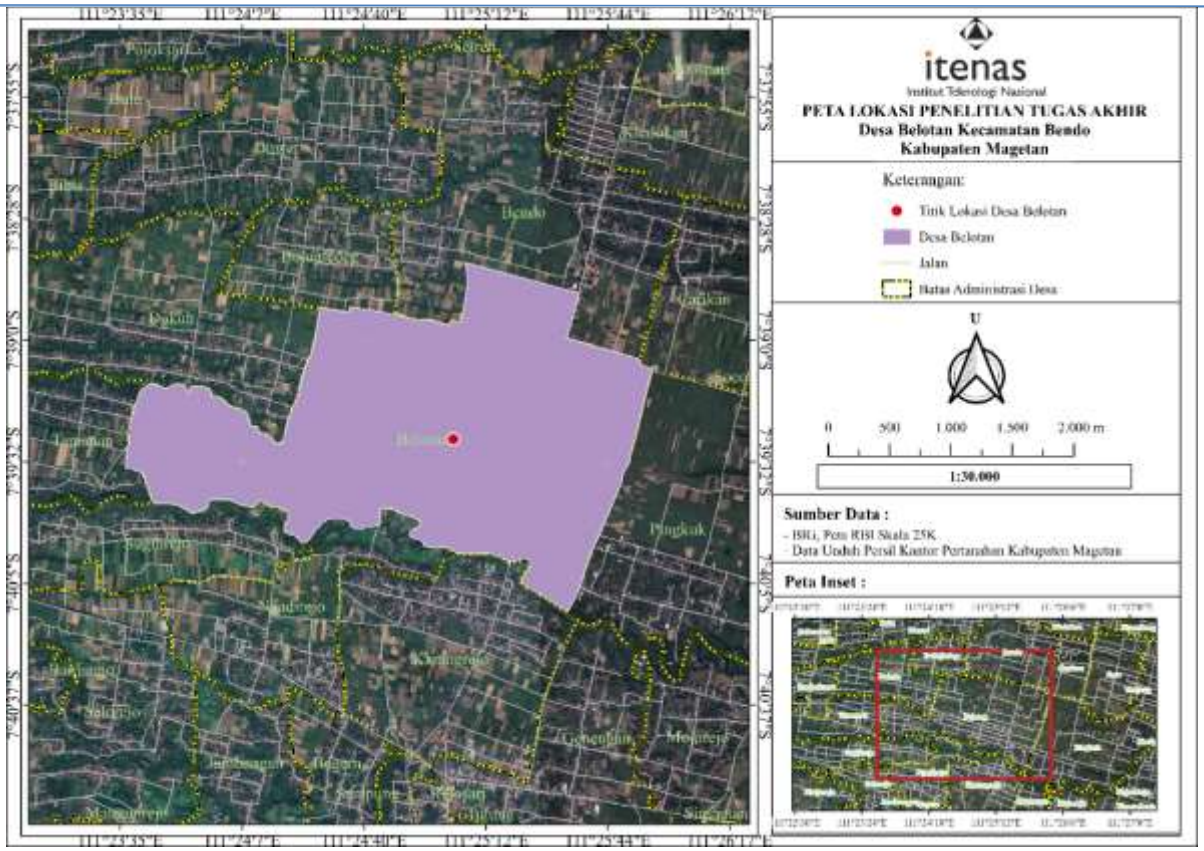
Penelitian ini mengisi celah tersebut melalui perbandingan terkontrol pada wilayah Desa Belotan, Kecamatan Bendo, Kabupaten Magetan. Dua skenario diproses dengan parameter fotogrametri yang sama sehingga variabel utama yang dibedakan adalah keterlibatan enam GCP dalam bundle adjustment. Sebanyak 15 titik ICP yang sama digunakan untuk mengevaluasi kedua orthophoto. Ketelitian horizontal dinilai melalui RMSE X, RMSE Y, RMSE horizontal, dan CE90, sedangkan ketelitian vertikal dinilai melalui RMSE Z dan LE90. Selain itu, perbedaan antar-skenario diuji secara statistik dan hasil akhirnya dibandingkan dengan ambang Juknis PTSL 2026. Pendekatan ini memungkinkan penilaian yang lebih terukur mengenai apakah penambahan GCP benar-benar meningkatkan kelayakan geometrik orthophoto untuk pemetaan bidang tanah.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi dan Data Penelitian

Penelitian dilakukan di Desa Belotan, Kecamatan Bendo, Kabupaten Magetan, Provinsi Jawa Timur. Area akuisisi mencakup sekitar 16,92 km² dan didominasi lahan terbangun dengan permukaan keras serta topografi relatif landai. Foto udara diperoleh pada November 2025 menggunakan UAV FARM Mapper VTOL V2 PPK dengan kamera Sony A7R Mark II dan lensa FE 35 mm F2.8 ZA. Akuisisi terdiri atas lima sesi terbang dengan total 3.263 foto. Data posisi kamera dikoreksi menggunakan PPK dengan base station D2 BM03 MGT. Sebanyak 21 titik lapangan diukur menggunakan GNSS statik pada Mei 2026; enam titik digunakan sebagai GCP dan 15 titik lainnya sebagai ICP pada kedua skenario.

Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.4, Oktober 2026 Hal 21678 - 21686
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934



Gambar 1. Lokasi penelitian dan cakupan spasial survei UAV di Desa Belotan.

2.2 Akuisisi Terbang dan Pengolahan PPK

Koreksi PPK diproses menggunakan Emlid Studio melalui lima sesi penerbangan (D2F3, D2F4, D2F5, D2F6, dan D2F10). Proporsi solusi fixed berada pada kisaran 90,1–99,6%, sehingga kualitas geotagging dinilai memadai untuk pengolahan fotogrametri lanjutan. Selanjutnya, koordinat hasil PPK digunakan sebagai input posisi kamera pada kedua skenario.

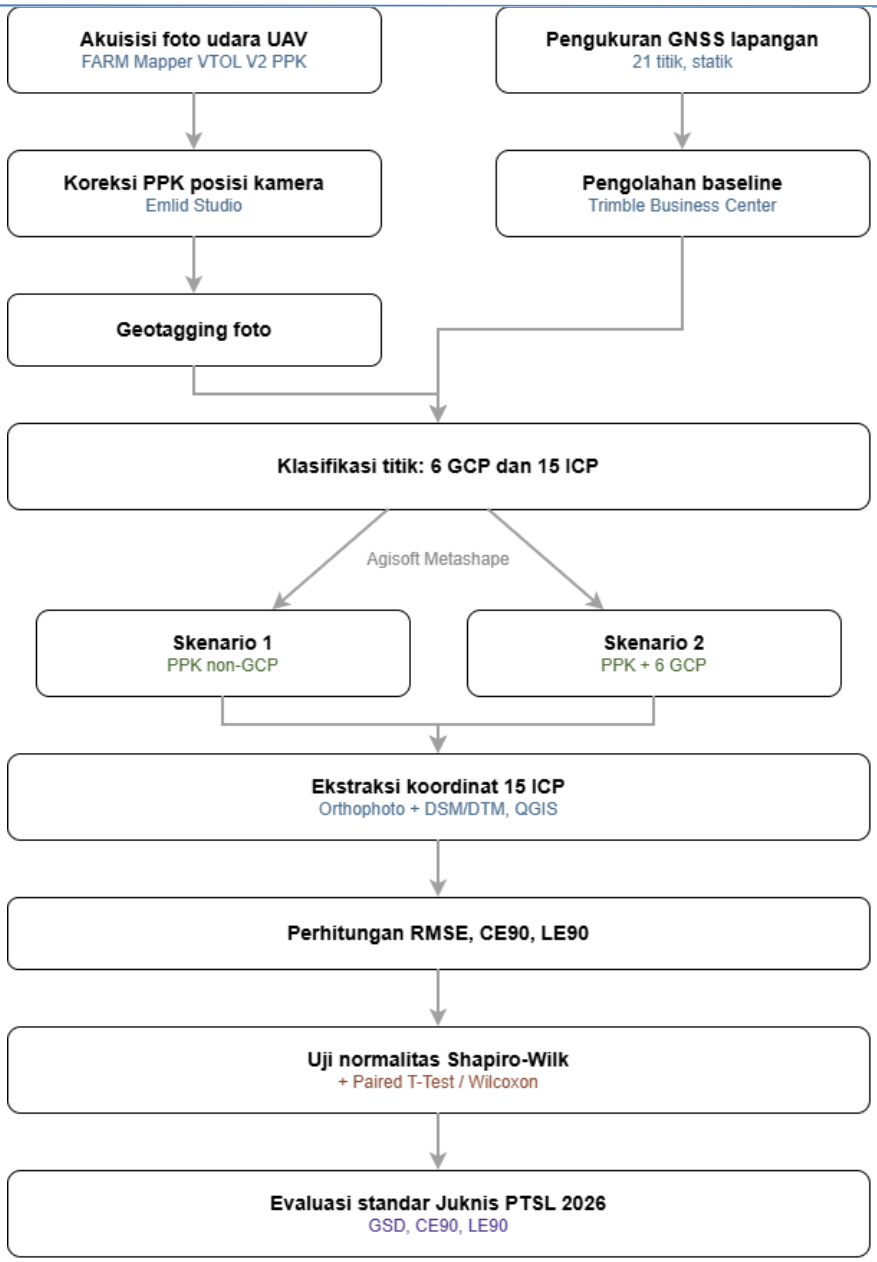
Tabel 1. Parameter perencanaan dan realisasi akuisisi terbang UAV

Parameter	Rencana	Realisasi
Ketinggian terbang	350 m	359 m
Sudut kamera	0° (nadir)	—
Overlap depan	80%	—
Overlap samping	70%	—
Jarak jalur terbang	107.70 m	—
GSD	4.52 cm/pixel	4.34 cm/pixel
Kecepatan terbang	19.0 m/s	—
Jumlah foto	3,301	3,263

2.3 Pengolahan Fotogrametri dan Skenario Eksperimen

Kedua skenario diproses menggunakan Agisoft Metashape Professional versi 2.3.2 dengan parameter yang identik: alignment accuracy High, key point limit 48.000, tie point limit 4.800, depth map quality Medium, dan filtering mode Mild. Tahapan pengolahan meliputi align photos, pembentukan dense point cloud, model elevasi, dan orthomosaic. Pada Skenario 1, seluruh foto diproses menggunakan posisi kamera hasil PPK tanpa GCP. Pada Skenario 2, enam GCP (ICP_01, ICP_08, ICP_11, ICP_17, ICP_19, dan ICP_21) ditambahkan pada tahap alignment dan dilibatkan dalam bundle adjustment. Kesamaan parameter pemrosesan dimaksudkan agar perbedaan hasil dapat diatribusikan terutama pada perubahan constraint georeferencing.

Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.4, Oktober 2026 Hal 21678 - 21686
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934



Gambar 2. Alur kerja penelitian dari akuisisi UAV hingga evaluasi ketelitian dan kesesuaian terhadap Juknis PTSL 2026.

2.4 Penilaian Ketelitian Geometrik

Koordinat 15 ICP diekstraksi dari orthophoto dan model permukaan kedua skenario menggunakan QGIS, kemudian dibandingkan dengan koordinat referensi GNSS statik. RMSE horizontal dihitung dari komponen residual X dan Y, sedangkan RMSE vertikal dihitung dari residual Z. Nilai RMSE kemudian dikonversi menjadi CE90 dan LE90 menggunakan faktor yang dirujuk pada standar BIG dan ketentuan ketelitian peta dasar [13,14]. DSM digunakan sebagai acuan vertikal utama karena sebagian besar ICP berada pada objek permukaan non-tanah seperti pagar, beton dudukan, dan elemen saluran; hasil DTM digunakan sebagai uji sensitivitas.

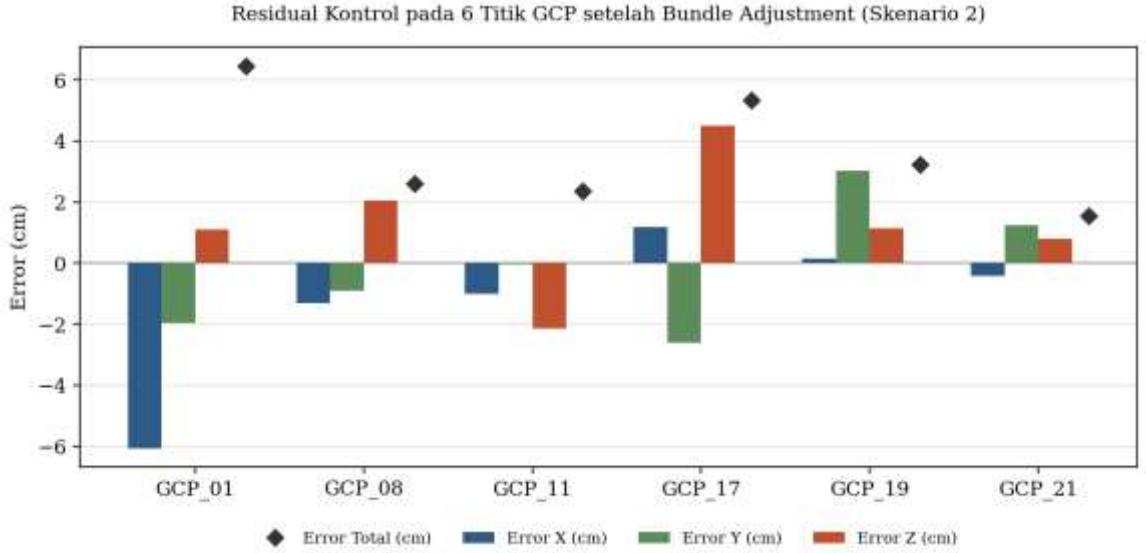
Untuk menguji perbedaan antar-skenario, selisih error pada 15 pasangan ICP terlebih dahulu diuji menggunakan Shapiro-Wilk. Data yang berdistribusi normal diuji dengan Paired T-Test, sedangkan data yang tidak memenuhi asumsi normalitas diuji menggunakan Wilcoxon Signed-Rank Test pada $\alpha = 0,05$. Kesesuaian absolut terhadap Juknis PTSL 2026 kemudian dievaluasi berdasarkan GSD, CE90, dan LE90.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kualitas Pengolahan dan Jaringan Kontrol

Skenario 1 menghasilkan reprojection error sebesar 1,262 piksel, sedangkan Skenario 2 menghasilkan 1,263 piksel. Nilai yang hampir identik menunjukkan bahwa penambahan GCP tidak mengubah kualitas image matching secara terukur. Pada Skenario 2, RMSE residual enam GCP setelah

bundle adjustment sebesar 3,987 cm, dengan komponen X 2,615 cm, Y 1,916 cm, dan Z 2,321 cm. Residual terbesar terdapat pada GCP_01 untuk komponen horizontal dan GCP_17 untuk komponen vertikal. Karena kualitas alignment dan parameter pemrosesan praktis sama, perbedaan ketelitian produk akhir dapat dianalisis terutama sebagai konsekuensi dari perubahan constraint georeferencing.



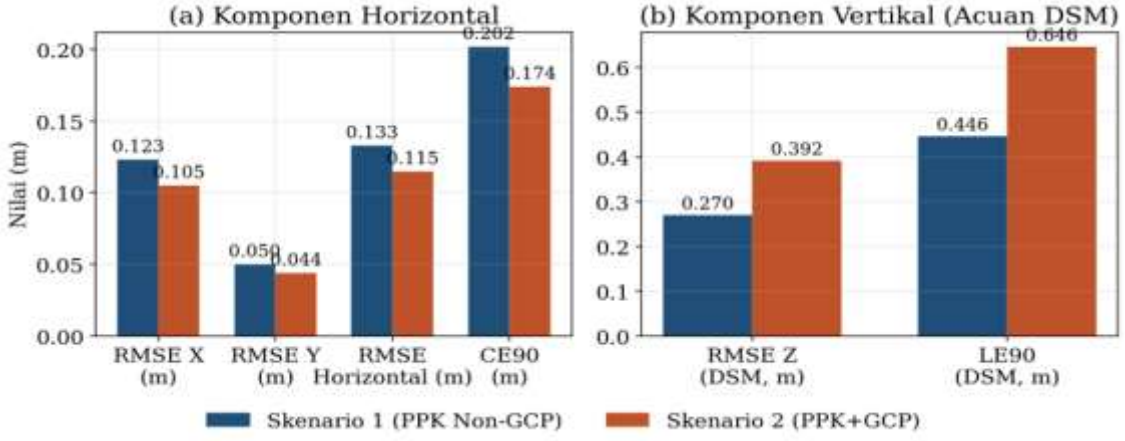
Gambar 3. Residual enam GCP setelah bundle adjustment pada Skenario 2.

3.2 Perbandingan Ketelitian Geometrik

Perbedaan antar-skenario menunjukkan pola yang berlawanan antara komponen horizontal dan vertikal. Pada komponen horizontal, PPK+GCP menghasilkan nilai RMSE dan CE90 yang lebih kecil; CE90 turun dari 0,2016 m menjadi 0,1738 m atau sekitar 13,8%. Sebaliknya, pada komponen vertikal berbasis DSM, RMSE Z meningkat dari 0,2701 m menjadi 0,3918 m dan LE90 meningkat dari 0,4457 m menjadi 0,6464 m. Pola tersebut menunjukkan bahwa penambahan GCP tidak otomatis meningkatkan seluruh dimensi ketelitian geometrik.

Tabel 2. Ketelitian geometrik dua skenario pengolahan orthophoto (n=15 ICP).

Parameter	PPK Non-GCP	PPK+GCP	Selisih
RMSE X (m)	0.1229	0.1055	−0.0174
RMSE Y (m)	0.0504	0.0445	−0.0059
RMSE Horizontal (m)	0.1329	0.1145	−0.0184
CE90 (m)	0.2016	0.1738	−0.0278
RMSE Z—DSM (m)	0.2701	0.3918	+0.1217
LE90—DSM (m)	0.4457	0.6464	+0.2007
RMSE Z—DTM (m)	0.2795	0.3763	+0.0968
LE90—DTM (m)	0.4612	0.6209	+0.1597



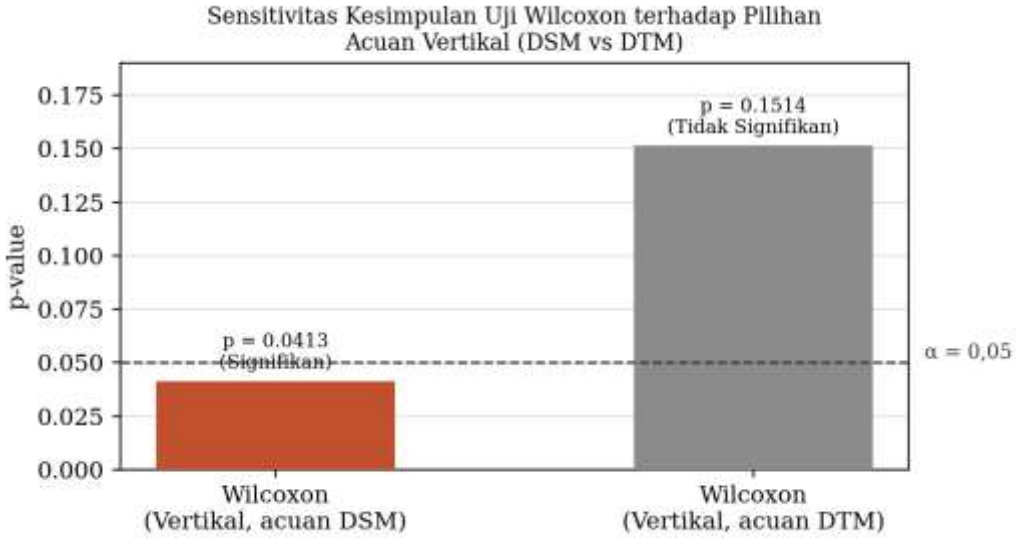
Gambar 4. Perbandingan ketelitian geometrik horizontal dan vertikal antara kedua skenario.

3.3 Perbedaan Signifikansi Statistik

Uji Shapiro-Wilk menunjukkan data selisih error horizontal berdistribusi normal (W=0,9223; p=0,2087), sedangkan selisih error vertikal berbasis DSM dan DTM tidak normal (p=0,0088 dan p=0,0074). Oleh karena itu, Paired T-Test digunakan untuk komponen horizontal dan Wilcoxon untuk komponen vertikal. Hasil Paired T-Test menunjukkan bahwa PPK+GCP secara statistik lebih baik pada komponen horizontal (p=0,0169). Sebaliknya, Wilcoxon berbasis DSM menunjukkan PPK+GCP secara statistik lebih buruk pada komponen vertikal (p=0,0413). Ketika DTM digunakan sebagai acuan, perbedaan vertikal tidak lagi signifikan (p=0,1514).

Tabel 3. Uji statistik berpasangan untuk perbedaan ketelitian antar-skenario.

Komponen	Uji	Statistik	p-value	Kesimpulan (α=0.05)
Horizontal	Paired T-Test	t = 2.709 (df=14)	0.0169	Signifikan; PPK+GCP lebih baik
Vertical (DSM)	Wilcoxon	W = 24	0.0413	Signifikan; PPK+GCP lebih buruk
Vertical (DTM)	Wilcoxon	W = 34	0.1514	Tidak signifikan



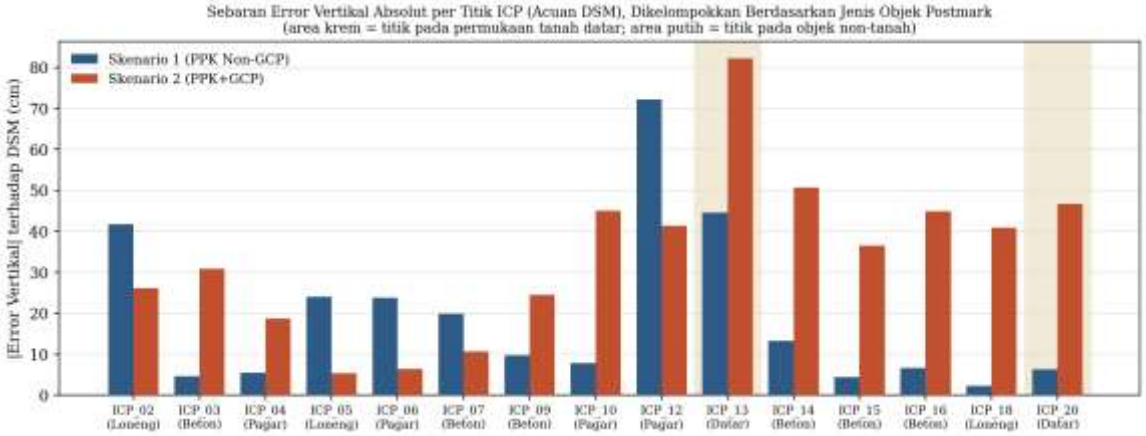
Gambar 5. Sensitivitas kesimpulan Wilcoxon terhadap pemilihan permukaan acuan vertikal (DSM dibanding DTM).

3.4 Interpretasi Efek Horizontal dan Vertikal yang Berlawanan

Perbaikan horizontal setelah penambahan GCP dapat dipahami sebagai akibat adanya constraint posisi absolut yang membantu mengoreksi drift horizontal pada blok foto. Namun, efek tersebut tidak diikuti peningkatan vertikal. Enam GCP yang digunakan memiliki residual Z yang tidak seragam, dengan GCP_17 mencapai 4,512 cm. Dalam konfigurasi pemotretan nadir tunggal, geometri perpotongan sinar memiliki kekuatan relatif lebih rendah pada arah vertikal dibandingkan horizontal. Penambahan constraint vertikal pada geometri tersebut dapat menghasilkan redistribusi error yang tidak seragam pada permukaan model. Penjelasan ini merupakan interpretasi geometrik terhadap pola empiris, bukan bukti kausal langsung, karena processing report tidak menyediakan metrik intersection angle per titik.

Sebaran error pada 15 ICP juga menunjukkan bahwa peningkatan error vertikal tidak terbatas pada satu jenis objek. Pada 10 dari 15 titik, error vertikal absolut Skenario 2 lebih besar daripada Skenario 1. Peningkatan terbesar terlihat pada ICP_10, ICP_16, dan ICP_14, yang masing-masing berada pada pagar atau beton dudukan. Hal ini memperkuat pentingnya pemilihan permukaan acuan. Karena 13 dari 15 ICP berada pada objek non-tanah, DSM lebih representatif daripada DTM untuk menilai apakah posisi permukaan yang teridentifikasi pada orthophoto sesuai dengan titik referensi lapangan. Sensitivitas hasil statistik ketika DTM digunakan menunjukkan bahwa kesimpulan vertikal perlu dibaca bersama justifikasi metodologis pemilihan permukaan acuan.

Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.4, Oktober 2026 Hal 21678 - 21686
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934



Gambar 6. Error absolut vertikal pada tiap ICP, dikelompokkan berdasarkan jenis objek.

3.5 Kesesuaian terhadap Juknis PTSL 2026

Kedua skenario memenuhi seluruh ambang teknis. GSD 0,0434 m/piksel jauh di bawah batas 0,12 m/piksel, CE90 masing-masing 0,2016 m dan 0,1738 m berada di bawah batas 0,40 m, dan LE90 berbasis DSM masing-masing 0,4457 m dan 0,6464 m berada di bawah batas 2,00 m. Dengan demikian, signifikansi statistik tidak boleh disamakan dengan ketidaklayakan teknis. PPK+GCP memang berbeda secara signifikan dari PPK Non-GCP pada komponen horizontal dan vertikal, tetapi kedua produk tetap lolos ambang regulasi.

Tabel 4. Kesesuaian kedua skenario terhadap Juknis PTSL Terintegrasi 2026.

Parameter	PPK Non-GCP	PPK+GCP	Ambang 2026	Status S1	Status S2
GSD (m/pixel)	0.0434	0.0434	≤ 0.12	LULUS	LULUS
CE90 (m)	0.2016	0.1738	≤ 0.40	LULUS	LULUS
LE90—DSM (m)	0.4457	0.6464	≤ 2.00	LULUS	LULUS

3.6 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu dan Implikasi Praktis

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa penambahan GCP memberikan manfaat yang spesifik pada komponen horizontal, tetapi tidak menghasilkan peningkatan menyeluruh pada ketelitian orthophoto. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian yang menekankan pentingnya konfigurasi dan distribusi GCP, tetapi berbeda dari asumsi sederhana bahwa semakin banyak constraint kontrol selalu menghasilkan produk yang lebih akurat pada semua komponen [6,7]. Hasil ini juga memperkaya studi di Indonesia yang menunjukkan variasi performa PPK dan GCP antar lokasi [8–11]. Perbedaan hasil antar penelitian dapat dipengaruhi oleh topografi, distribusi titik kontrol, kualitas solusi GNSS, geometri jaringan foto, dan karakteristik permukaan yang digunakan untuk evaluasi.

Secara praktis, PPK Non-GCP memiliki keunggulan berupa berkurangnya kebutuhan pengukuran dan pemasangan GCP tambahan. Pada lokasi dengan karakteristik serupa—topografi landai, permukaan terbangun, kualitas solusi PPK tinggi, dan kepadatan tie point memadai—metode tersebut dapat digunakan sebagai alternatif efisien selama ICP tetap tersedia untuk kontrol kualitas. Sebaliknya, penggunaan GCP tetap relevan apabila kebutuhan utama adalah penguatan ketelitian horizontal atau integrasi terhadap kerangka referensi tertentu. Temuan penelitian tidak mendukung kesimpulan bahwa salah satu metode selalu lebih baik; metode yang tepat bergantung pada komponen ketelitian yang diprioritaskan dan kondisi jaringan fotogrametri.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa PPK Non-GCP dan PPK+GCP sama-sama mampu menghasilkan orthophoto yang memenuhi standar ketelitian PTSL Terintegrasi 2026 pada lokasi penelitian. PPK Non-GCP menghasilkan RMSE horizontal 0,133 m, CE90 0,202 m, RMSE vertikal berbasis DSM 0,270 m, dan LE90 0,446 m. PPK+GCP menghasilkan ketelitian horizontal yang lebih baik, yaitu RMSE horizontal 0,115 m dan CE90 0,174 m, tetapi ketelitian vertikal lebih rendah, yaitu RMSE 0,392 m dan LE90 0,646 m. Perbedaan horizontal terbukti signifikan secara statistik (p=0,0169), sedangkan perbedaan vertikal berbasis DSM juga signifikan (p=0,0413) dengan arah yang merugikan PPK+GCP. Hasil berbasis DTM tidak menunjukkan perbedaan vertikal yang signifikan (p=0,1514), sehingga DSM dipertahankan sebagai acuan utama karena karakteristik mayoritas ICP berada pada objek permukaan non-tanah. Kedua metode

memenuhi ambang GSD ≤ 0,12 m, CE90 ≤ 0,40 m, dan LE90 ≤ 2,00 m. Dengan demikian, PPK Non-GCP berpotensi memberikan efisiensi survei tanpa mengurangi kelayakan teknis sebagai peta dasar PTSL pada konteks yang serupa dengan lokasi penelitian. Generalisasi hasil tetap perlu dilakukan secara hati-hati karena sebaran ICP belum mencakup seluruh area akuisisi dan konfigurasi GCP tidak dirancang secara prospektif.

5. Daftar Singkatan

UAV	Unmanned Aerial Vehicle
GNSS	Global Navigation Satellite System
PPK	Post Processing Kinematic
GCP	Ground Control Point
ICP	Independent Check Point
RMSE	Root Mean Square Error
CE90	Circular Error at 90% confidence
LE90	Linear Error at 90% confidence
GSD	Ground Sample Distance
DSM	Digital Surface Model
DTM	Digital Terrain Model
PTSL	Pendaftaran Tanah Sistematis Lengkap

6. Daftar Pustaka

[1] M. Štroner, R. Urban, J. Seidl, T. Reindl, and J. Brouček, "Photogrammetry Using UAV-Mounted GNSS RTK: Georeferencing Strategies without GCPs," Remote Sensing, vol. 13, no. 7, p. 1336, 2021. doi:10.3390/rs13071336.

[2] K. Pargieła, "Optimising UAV Data Acquisition and Processing for Photogrammetry: A Review," Geomatics and Environmental Engineering, vol. 17, no. 3, pp. 29–59, 2023. doi :10.7494/geom.2023. 17.3.29.

[3] L. Rabiu and A. Ahmad, "Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetric Products Accuracy Assessment: A Review," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XLVIII-4/W6-2022, pp. 279–288, 2023. doi:10.5194/isprs-archives-xlviii-4-w6-2022-279-2023.

[4] R. M. Alkan, M. O. Selbesoğlu, H. H. Yavaşoğlu, and M. Arkalı, "Accuracy Assessment of RTK, PPK, and PPP-AR Techniques for Direct Georeferencing in UAV-Based Photogrammetric Mapping," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XLVIII-M-6-2025, pp. 325–330, 2025. doi:10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-6-2025-325-2025.

[5] R. Tamimi and C. Toth, "Assessing the Viability of PPK Techniques for Accurate Mapping with UAS," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XLVIII-1/W1-2023, pp. 479–488, 2023. doi:10.5194/isprs-archives-xlviii-1-w1-2023-479-2023.

[6] B. Žabota and M. Kobal, "Accuracy Assessment of UAV-Photogrammetric-Derived Products Using PPK and GCPs in Challenging Terrains: In Search of Optimized Rockfall Mapping," Remote Sensing, vol. 13, no. 19, p. 3812, 2021. doi:10.3390/rs13193812.

[7] H. Susilo, M. N. Bani, and A. N. Fajarwati, "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, vol. 13, no. 1, pp. 61–74, 2023. doi:10.35457/quateknika.v13i1.2723.

[8] Z. Firmansyah, Y. Susilo, and R. F. Wijayanti, "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, vol. 14, no. 1, 2025.

[9] N. S. Kaffa, R. F. Wijayanti, T. Kusetiyohadi, H. Sijabat, and T. Pranadiarso, "The Analysis of GCP Correction Toward GNSS-PPK for Land Registration Base-map in Muktisari Village, Cipaku District, Ciamis Regency," Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik, vol. 23, no. 2, pp. 91–99, 2024.

[10] R. F. Wijayanti, N. S. Kaffa, T. Kusetiyohadi, H. Sijabat, A. P. Putra, S. E. Prabawa, and Y. Susilo, "Utilizing Post Processing Kinematic (PPK) Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to Accelerate Detailed Land Mapping," Jurnal Geosaintek, vol. 9, no. 3, pp. 176–182, 2023.
[11] T. Hariyanto and I. Pakaya, "Studi Ketelitian Planimetris dan Luas Hasil Foto Udara Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Guna Menunjang Kegiatan Pendaftaran Tanah Sistematik Lengkap (PTSL)," Geoid, vol. 18, no. 2, pp. 275–286, 2023.
[12] Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional, "Petunjuk Teknis Pengumpulan Data Fisik PTSL Terintegrasi (Pembuatan Foto Tegak) Tahun 2026, Nomor 3/Juknis-300.UK.01 .01/IV/2026," Jakarta, 2026.
[13] Badan Informasi Geospasial, "Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 tentang Perubahan atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar," Bogor, 2018.
[14] American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), "ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data, Edition 1, Version 1.0," Bethesda, 2015.
[15] A. Agustina, "Evaluasi Uji Perbandingan Ketelitian pada Ortofoto Berdasarkan Standar ASPRS," Elipsoida Jurnal Geodesi dan Geomatika, vol. 4, no. 1, pp. 16–26, 2021. doi:10.14710/elipsoida.2021 .11015.
[16] A. Yaman and H. M. Yılmaz, "Accuracy Investigation on Orthophotos Produced from Digital Aerial Imagery Recorded from Different Altitudes," Turkish Journal of Geosciences, vol. 5, no. 1, pp. 1–11, 2024. doi:10.48053/turkgeo.1517771.
[17] C. D. Ghilani and P. R. Wolf, Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics, 15th ed. London: Pearson, 2019.
[18] R. Sandria, K. Cordova, and F. D. Rassarandi, "Uji Akurasi Peta Foto Udara Skala 1:5000 Sebagai Peta Dasar Berdasarkan Juknis PTSL Tahun 2023," Jurnal Integrasi, vol. 17, no. 2, pp. 117–121, 2025. doi:10.30871/ji.v17i2.9003.