

Helik Susilo¹⁾, MartinceNovianti Bani¹⁾, Anisah Nur

ANALISIS PENGARUH JUMLAH GCP (*GROUND CONTROL POINT*) TERHADAP AKURASI PETA ORTHOFOTOPADA JALAN YANG BERKARAKTER CURAM DENGAN TIKUNGAN TAJAM HASIL PEMOTRETAN UDARA METODE UAV-FOTOGRAMETRI

Jurnal *Qua Teknika*, (2023), 13(1): 61-74

ANALISIS PENGARUH JUMLAH GCP (*GROUND CONTROL POINT*) TERHADAP AKURASI PETA ORTHOFOTOPADA JALAN YANG BERKARAKTER CURAM DENGAN TIKUNGAN TAJAM HASIL PEMOTRETAN UDARA METODE UAV-FOTOGRAMETRI

Helik Susilo¹⁾, MartinceNovianti Bani¹⁾, Anisah Nur Fajarwati¹⁾

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65141

susilohelik@polinema.ac.id

ABSTRAK

Studi tentang pengaruh konfigurasi *Ground Control Point* (GCP) terhadap akurasi peta orthofoto hasil pemotretan metode UAV-Fotogrametri telah banyak dilakukan. Akan tetapi penelitian-penelitian tersebut dilaksanakan dengan kondisi objek berupa area atau jalan yang relative datar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari pola dan jumlah GCP terhadap akurasi petaortho foto yang dihasilkan dengan kondisi objek jalan yang berkarakter curam dengan tikungan tajam. Digunakan 4 skenario pola dan jumlah GCP pada area jalan sepanjang ± 500 meter,4 skenario divalidasi menggunakan RMSEr untuk ketelitian posisi horizontalnya dan RMSEz untuk ketelitian posisi vertikalnya. Dari scenario percobaan yang dilakukan didapatkan hasil yaitu pada scenario pertama dengan GCP 3 buah menghasilkan nilai RMSEr = 0,193 m dan RMSEz = 0,262 m, kedua dengan GCP 4 buah menghasilkan nilai RMSEr = 0,200 m dan RMSEz = 0,608 m, ketiga dengan GCP 4 buah yang diletakan pada setiap tikungan menghasilkan nilai RMSEr = 0,164 m dan RMSEz = 0,429 m, keempat dengan GCP 5 buah menghasilkan nilai RMSEr = 0,134m dan RMSEz = 0,401m. Ketelitian geometri dari empat scenario peta orthofoto yang dihasilkan mampu mencapai skala peta 1:2500 dengan interval kontur 1,25 m berdasarkan pedoman teknis ketelitian peta dasar.

Kata Kunci: GCP, UAV-fotogrametri, Akurasi, Orthofoto, Jalan Raya.

ABSTRACT

Many studies have been carried out on the effect of Ground Control Point (GCP) configuration to the accuracy of orthophoto maps by using UAV-Photogrammetry methods. However, these studies are relatively carried out in the areas or roads that tend to be flat. The aim of this research is to study the effect of the pattern and number of GCPs to the accuracy of the orthophoto map of the roads with the steep slope and sharp curve. Four pattern scenarios and the number of GCPs were tested on the road along ± 500 meter. In addition, 4 scenarios were validated using RMSEr to obtain the accuracy of the horizontal position and RMSEz to obtain the accuracy of the vertical position. Result show that, the first scenario with 3 GCPs produced RMSEr = 0.193 m and RMSEz = 0.262 m, the second scenario with 4 GCPs produced RMSEr = 0.200 m and RMSEz = 0.608 m, the third scenario with 4 GCPs which placed at each curve produces RMSEr = 0.164 m and RMSEz = 0.429 m, and the fourth scenario with 5 GCPs produces RMSEr = 0.134 m and RMSEz = 0.401 m. The geometric accuracy from for scenarios of the orthophoto map is evaluated against the technical guidelines for base map accuracy can reach a map scale of 1:2500 with contour intervals of 1.25 m.

Keywords: GCP, UAV-Photogrammetry, Accuracy, Orthophoto, roadway

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, penggunaan pesawat nirawak (*Unmanned Aerial Vehicle* – UAV) yang berbasis pada teknik fotogrametri menjadi sangat populer dan terpercaya, tidak hanya untuk pengguna tetapi juga untuk penelitian yang berkaitan dengan survei dan pemetaan. Keunggulan metode UAV-Fotogrametri berupa resolusi

Helik Susilo¹⁾, MartinceNovianti Bani¹⁾, Anisah Nur

ANALISIS PENGARUH JUMLAH GCP (*GROUND CONTROL POINT*) TERHADAP AKURASI PETA ORTHOFOTOPADA JALAN YANG BERKARAKTER CURAM DENGAN TIKUNGAN TAJAM HASIL PEMOTRETAN UDARA METODE UAV-FOTOGRAMETRI

Jurnal *Qua Teknika*, (2023), 13(1): 61-74

pengamatannya yang tinggi serta efisiensi waktunya dibandingkan dengan satelit penginderaan jauh, menjadikannya platform yang paling banyak dieksplor dewasa ini [1]. Perkembangan pesat ini menjadikan UAV berkontribusi pada berbagai bidang seperti pembangunan model 3-dimensi untuk deteksi perubahan geomorfologi [2], pendokumentasian situs budaya [3], deteksi gangguan jalan [4], estimasi volume timbunan [5] dan sebagainya.

Di sisi lain, kombinasi antara UAV dengan algoritma *structure from motion* (SFM) dapat menghasilkan model permukaan digital (DSM) dan orthofoto presisi tinggi [6]. DSM merupakan representasi digital posisi horizontal maupun vertical objek di permukaan bumi, baik itu objek buatan manusia maupun alamiah [7]. Sedangkan ortofoto merupakan foto yang telah dikoreksi setiap distorsi geometriknya sehingga memungkinkan pengukuran bebas distorsi [8]. Dengan demikian maka data yang dihasilkan melalui akuisisi UAV sendiri tidak hanya mampu menghasilkan data berupa 3D *point cloud* tetapi juga DSM, orthofoto, DTM, data kontur dan sebagainya. Selain itu, dengan skala peta yang dihasilkan melalui pemetaan menggunakan UAV maka peta yang dihasilkan dapat digunakan untuk keperluan indentifikasi topografi dan keperluan lainnya [7,9]. Namun dalam aplikasinya diberbagai studi dan penelitian untuk menghasilkan peta orthofoto dan model permukaan digital dengan akurasi tinggi, maka georeferensi tidak langsung dari GCP sangat berpengaruh [10]. Titik control tanah (*Groundcontrolpoint* - GCP) merupakan titik di tanah yang diketahui koordinatnya dan digunakan sebagai acuan dalam foto udara [11].

Studi tentang pengaruh konfigurasi GCP terhadap akurasi petaorthofoto hasil pemotretan metode UAV-Fotogrametri telah banyak dilakukan. Akan tetapi penelitian-penelitian tersebut dilaksanakan dengan kondisi objek lahan berupa area atau jalan yang relative datar. Aguera-Vega et al., [12] mengkaji bahwa penambahan jumlah GCP mampu peningkatan ketelitian sampai 0.03 m pada objek lahan berupa area dengan luas 17.6 ha. Sedangkan Martinez-Carricondo et al., [13] juga mengkaji penambahan jumlah GCP yang dapat meningkatkan ketelitian hingga 0.036 m pada objek lahan berupa area dengan luas 17.6 ha dan kemiringan lahan sebesar 6.45 %. Di sisi lain, Sanz-Ablanedo et al., [14] menemukan bahwa penambahan jumlah GCP dapat meningkatkan ketelitian sampai 0.12 m pada objek lahan berupa area dengan luas 1225 ha. Adapun studi yang dilakukan oleh Bolkas [15] membuktikan bahwa semakin dekat jarak antar GCP maka semakin baik ketelitian yang diperoleh yaitu 0.01 m pada objek lahan berupa area dengan luas 2.25 ha. Selain itu, studi lain yang dilaksanakan oleh Ferrer-González et al., [16] membuktikan bahwa penambahan jumlah GCP dapat menghasilkan ketelitian sebesar 0.027 m pada objek lahan berbentuk koridor sepanjang 2.1 km.

Berdasarkan studi-studi terdahulu di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari pola dan jumlah GCP terhadap akurasi petaorthofoto yang dihasilkan dengan kondisi objek berupa jalan yang berkarakter curam dengan tikungan tajam Pemotretan dilakukan sepanjang jalan raya dengan panjang ruas jalan sepanjang ± 500 meter. Selain itu, penelitian ini juga dimaksudkan agar memperoleh petaorthofoto dari hasil pemotretan dengan mengaplikasikan metode UAV-fotogrametri pada jalan yang berkarakter curam dengan tikungan tajam. Data yang diperoleh dari hasil akuisisi diproses untuk memperoleh petaorthofoto. Sedangkan asesmen akurasi dilakukan pada posisi horizontal (X, Y) dan vertikal (Z). Sehingga pada penelitian dapat diketahui hubungan antara konfigurasi GCP dengan akurasi petaorthofoto yang dihasilkan.

2. METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Jl. Sempu, Dau, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Pemotretan dilaksanakan sepanjang jalur jalan raya sepanjang ± 500 meter, yang terbentang dari selatan ke utara dengan tingkat kecuraman terendah ada di bagianutara. Sebagian besar wilayahnya masih tertutup vegetasi. Adapun jenis tutupan lahan di sekitar area penelitian terdiri dari lahan terbangun, kebun campuran, tanah terbuka, pemukiman serta sungai. Lokasi penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 1.

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari survey menggunakan teknologi UAV-fotogrametri. Akuisisi data foto dilaksanakan pada bulan Juni 2022 oleh tim dengan menggunakan DJI Phantom 4 dan akuisisi data GCP menggunakan *receiver* GNSS tipe *Geodetic* Sokkia GCX2. Serangkaian proses dalam survey dengan UAV fotogrameteri adalah penentuan jalur terbang, perencanaan GCP, akuisisi

Helik Susilo¹⁾, MartinceNovianti Bani¹⁾, Anisah Nur

ANALISIS PENGARUH JUMLAH GCP (*GROUND CONTROL POINT*) TERHADAP AKURASI PETA ORTHOFOTOPADA JALAN YANG BERKARAKTER CURAM DENGAN TIKUNGAN TAJAM HASIL PEMOTRETAN UDARA METODE UAV-FOTOGRAMETRI

Jurnal *Qua Teknika*, (2023), 13(1): 61-74

data GCP dan akuisisi data fotoudara. Proses penentuan konfigurasi GCP dibagidalam4 skema yang terdiri dari3s.d. 5 konfigurasi GCP untuk tiap skema, serta skema tambahan yaitu 4 GCP pada area jalan dengan



Gambar 1. Lokasi penelitian

konturcuram yang mencakup lengkung peralihan-tikungan (lengkung bolak-balik)-lengkung peralihan jalan.

B. Akuisisi Data

1. SurveiGNSS

Berdasarkan pada penentuan daerah penelitian yang difokuskan pada bentangan alam yang berkarakter curam, maka penetapan GCP pada penelitian ini dilaksanakan secara merata. Survei GNSS ini didahului dengan pemasangan premark di lokasi-lokasi yang telah ditentukan terlebih dahulu melalui survey pendahuluan. Sebanyak lima buah Premark dipasang pada lokasi-lokasi sepanjang jalan yang tidak terhalang pohon ataupun terhalang pemukiman serta mudah diidentifikasi pada foto. Jarak maksimum pemasangan Premark yaitu berkisar pada jarak antara 150 sampai dengan 200 meter, kemudian dilakukan survei GNSS pada lokasi-lokasi Premark tersebut sebagai GCP. Lalu pada selang jarak antar GCP dilakukan pengukuran ICP dengan mengambil objek-objek utama yang mudah diidentifikasi di foto. Objek-objek yang digunakan dalam pengukuran ICP dapat berupa objek alami maupun buatan manusia. Pelaksanaan pengukuran GCP dan ICP serta distribusi keduanya dapat dilihat pada Gambar 2.



Helik Susilo¹⁾, MartinceNovianti Bani¹⁾, Anisah Nur

ANALISIS PENGARUH JUMLAH GCP (*GROUND CONTROL POINT*) TERHADAP AKURASI
PETA ORTHOFOTOPADA JALAN YANG BERKARAKTER CURAM DENGAN TIKUNGAN
TAJAM HASIL PEMOTRETAN UDARA METODE UAV-FOTOGRA METRI

Jurnal *Qua Teknika*, (2023), 13(1): 61-74

Gambar 2. Distribusi GCP pada lokasipenelitian

Koordinat GCP dan ICP pada penelitian ini diakuisisi menggunakan *receiver* GNSS tipe *Geodetic* Sokkia GCX2 sebanyak 2 unit. Metode survei GNSS pada penelitian ini yaitu metode static diferensial dengan konfigurasi *baseline* berbentuk *radial*. Pada konfigurasi *baseline* berbentuk *radial*, pengukuran dilakukan dengan titik referensi sebagai *base station*, dan BM bertindak sebagai *rover* (yang akan ditentukan koordinatnya). Sehingga *baseline* antara *base station* dan *rover* membentuk geometri *radial*.

Di sisi lain, koordinat referensi yang digunakan untuk pengukuran ini mengacu pada titik koordinat Jaring Kontrol Horizontal Nasional (JKHN) yang dimiliki oleh Badan Informasi Geospasial (BIG), serta berupa stasiun GNSS CORS (*Continuously Operating Reference System*) dengan kode stasiun CMLG yang berlokasi di Kantor Telkom Kota Malang. Penelitian ini menggunakan data pengukuran GCP dan ICP yang menunjukkan deskripsi koordinat referensi stasiun GNSS CORS CLMG dalam system koordinat geodetik datum WGS-84 pada zona UTM 49S Selain itu, pada pengukuran GCP dan ICP ini, interval atau lama pengamatan pada tiap lokasi tersebut sebesar ≥ 30 s.d.60 menit dan waktu pengamatan bergantung pada panjangnya *baseline*. Metode pengukuran GNSS yang dilakukan diuraikan pada Tabel 1.

Table 1. Metode Survei GNSS

URAIAN METODE PENGUKURAN	
Metode Pengukuran	Statik

Helik Susilo¹⁾, MartinceNovianti Bani¹⁾, Anisah Nur

ANALISIS PENGARUH JUMLAH GCP (*GROUND CONTROL POINT*) TERHADAP AKURASI PETA ORTHOFOTOPADA JALAN YANG BERKARAKTER CURAM DENGAN TIKUNGAN TAJAM HASIL PEMOTRETAN UDARA METODE UAV-FOTOGRAMETRI

Jurnal *Qua Teknika*, (2023), 13(1): 61-74

Metode Pengukuran <i>Baseline</i>	Diferensial
Bentuk Geometri <i>Baseline</i>	Radial
Lama Pengamatan	Statik 30-60 Menit (tergantung pada panjang <i>baseline</i>)
Interval Pengamatan (epok)	15 <i>Second</i>
<i>Mask Angle</i>	10°

Untuk memastikan bahwa GCP akan mudah diidentifikasi pada foto, maka Premark dengan ukuran 1 m² dipasang di setiap lokasi yang tidak terhalang objek alami seperti pohon atau objek buatan manusia seperti bangunan, baliho, dsb. Gambar 3., merupakan Model GCP serta proses akuisisi data GCP menggunakan Geodetik GNSS Sokkia GCX2.



Gambar 2. (a) Premark dengan ukuran 1 m², dan (b) Akuisisi data GCP

2. Akuisisi data fotoudara

Telah diketahui dengan baik bahwa, satu foto yang dipotret menggunakan drone tidak dapat mencakup seluruh area yang diinginkan. Oleh karena itu, perlu untuk mendapatkan beberapa foto yang saling tumpang tindih untuk menggambarkan suatu area tertentu. Oleh karena itu, akuisisi data foto pada penelitian ini yang dilaksanakan pada bulan Juni 2022 oleh tim dengan menggunakan DJI Phantom 4 Pro dan kamera bawaannya bertujuan untuk mendapatkan multifoto untuk dapat merepresentasikan ruas jalan yang menjadi objek penelitian. Tinggi terbang drone pada lokasi penelitian adalah 65 meter dan pertampalan antar fotonya yaitu *overlap* sebesar 60% dan *sidelap* sebesar 40 %. Sedangkan luas area cakupannya sebesar 0, 105 km².

C. Pengolahan data

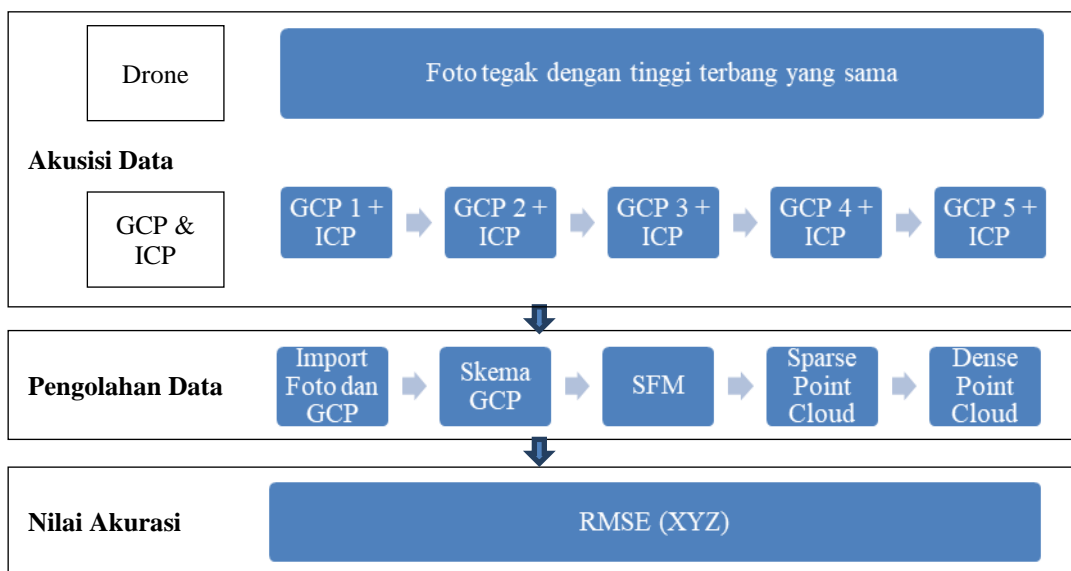
1. Alur Penelitian

Helik Susilo¹⁾, MartinceNovianti Bani¹⁾, Anisah Nur

ANALISIS PENGARUH JUMLAH GCP (*GROUND CONTROL POINT*) TERHADAP AKURASI PETA ORTHOFOTOPADA JALAN YANG BERKARAKTER CURAM DENGAN TIKUNGAN TAJAM HASIL PEMOTRETAN UDARA METODE UAV-FOTOGRAMETRI

Jurnal *Qua Teknika*, (2023), 13(1): 61-74

Proses pada penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian (Gambar 4) yaitu akuisis data, pengolahan data, dan penentuan nilai akurasinya. Tujuan dari alur penelitian ini yaitu untuk mengolah secara terpisah melalui proses *structure from motion* (SFM) ke dalam lima skenario yang telah dirancang, agar kemudian sasaran utamanya yaitu untuk mengevaluasi nilai ketinggian atau elevasinya berdasarkan pada nilai akurasi (RMSz). Alur penelitian ini direpresentasikan oleh Gambar 4.



Gambar 3. Alur penelitian

Setelah nilai informasi GCP dimasukkan dan nilai *point cloud* dioptimalkan maka perangkat lunak yang digunakan untuk proses data juga digunakan untuk mengekspor laporan kualitas termasuk di dalamnya adalah detail bundle adjustment, termasuk posisi kamera, overlap, dan jumlah titik konjugasi yang berhasil melalui proses pencocokan citra (*imagematching*), serta lokasi GCP. Geolokasi GCP sendiri termasuk di dalamnya adalah detail *error* pada posisi X dan Y serta Z baik itu pada GCP maupun ICP. Perhitungan *error* pada posisi horizontal mengacu pada persamaan (1) sedangkan *error* pada posisi vertical sama dengan *error* Z [1].

$$Horizontal\ Error = \sqrt{(Error\ X)^2 + (Error\ Y)^2} \tag{1}$$

Setelah memperoleh nilai *error* pada posisi horizontal maka baik itu GCP maupun ICP dievaluasi. Selama proses evaluasi, hubungan antara GCP dan ICP *error* diselidiki. Sehingga kemungkinan banyaknya kesalahan dalam pengukuran GCP yang diperoleh melalui pengukuran metode satatik diferensial dapat diketahui.

Bagian yang terakhir yaitu evaluasi menggunakan ICP dan sample check point untuk mengetahui besarnya nilai RMSE pada masing-masing posisi baik itu posisi horizontal maupun vertikal. Check point yang digunakan sebanyak 5 check point. Persamaan RMSE baik itu pada posisi horizontal maupun vertikal dapat dilihat pada sub-sub bab Penentuan Nilai Akurasi dan hasilnya ditampilkan melalui grafik pada sub bab Hasil Penentuan Nilai Akurasi.

Helik Susilo¹⁾, MartinceNovianti Bani¹⁾, Anisah Nur

ANALISIS PENGARUH JUMLAH GCP (*GROUND CONTROL POINT*) TERHADAP AKURASI PETA ORTHOFOTOPADA JALAN YANG BERKARAKTER CURAM DENGAN TIKUNGAN TAJAM HASIL PEMOTRETAN UDARA METODE UAV-FOTOGARAMETRI

Jurnal *Qua Teknika*, (2023), 13(1): 61-74

2. Penentuan Nilai Akurasi

Dalam proses untuk memperoleh nilai akurasi menggunakan teknik fotogrametri ini, *Independent Check Point* (ICP) sering digunakan untuk menilai akurasi berdasarkan pada *Root Mean Square Error* (RMSE). RMSE merupakan akar kuadrat dari rata-rata kuadrat selisih nilai koordinat data dan nilai koordinat dari independent check point yang akurasinya lebih tinggi. Persamaan 2, 3, dan 4 merupakan persamaan dasar yang digunakan dalam memperoleh RMSE Horizontal maupun RMSE Vertikal [17, 18].

$$RMS_{Horizontal} = \sqrt{D^2/n} \tag{2}$$

$$D^2 = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} = \sqrt{\frac{\sum(x_{data}-x_{cek})^2 + (y_{data}-y_{cek})^2}{n}} \tag{3}$$

$$RMS_{Vertikal} = \sqrt{\frac{\sum(z_{data}-z_{cek})^2}{n}} \tag{4}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengukuran GCP dan ICP

Proses perhitungan data survei GNSS sebagai koordinat GCP dan ICP dilakukan menggunakan perangkat lunak komersial. Pengolahan data dimulai dengan mengolah data GNSS hasil perekaman selama 30-60 menit dan data perekaman dari CORS CMLG yang dijadikan sebagai referensi penarikan nilai koordinat. Data perekaman tersebut diolah secara radial untuk mendapatkan nilai koordinatitik yang akan dijadikan acuan pengolahan GCP dengan metode jaring pada area penelitian. Hasil pengolahan tersebut memiliki nilai error horizontal sebesar 0.038 – 0.059 m dan error vertical sebesar 0.070 – 0.091 m, nilai koordinat dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3.

Tabel2.Koordinat GCP hasil survei GNSS

No	Nama	Timur (m)	Utara (m)	Error (m)	Tinggi Orthometrik (m)	Error (m)
1	GCP-2	672.402.222	9.122.641.374	0.054	715.609	0.085
2	GCP-3	672.511.294	9.122.680.593	0.059	706.353	0.067
3	GCP-4	672.571.396	9.122.739.206	0.038	699.818	0.070
4	GCP-5	672.649.349	9.122.860.283	0.072	683.583	0.072
5	GCP-6	672.589.679	9.122.836.983	0.042	683.955	0.091

Tabel 3.Koordinat ICP hasil survei GNSS

No	Nama	Timur (m)	Utara (m)	Error (m)	Tinggi Orthometrik (m)	Error (m)
----	------	-----------	-----------	-----------	------------------------	-----------

Helik Susilo¹⁾, MartinceNovianti Bani¹⁾, Anisah Nur

ANALISIS PENGARUH JUMLAH GCP (*GROUND CONTROL POINT*) TERHADAP AKURASI PETA ORTHOFOTOPADA JALAN YANG BERKARAKTER CURAM DENGAN TIKUNGAN TAJAM HASIL PEMOTRETAN UDARA METODE UAV-FOTOGRAMETRI

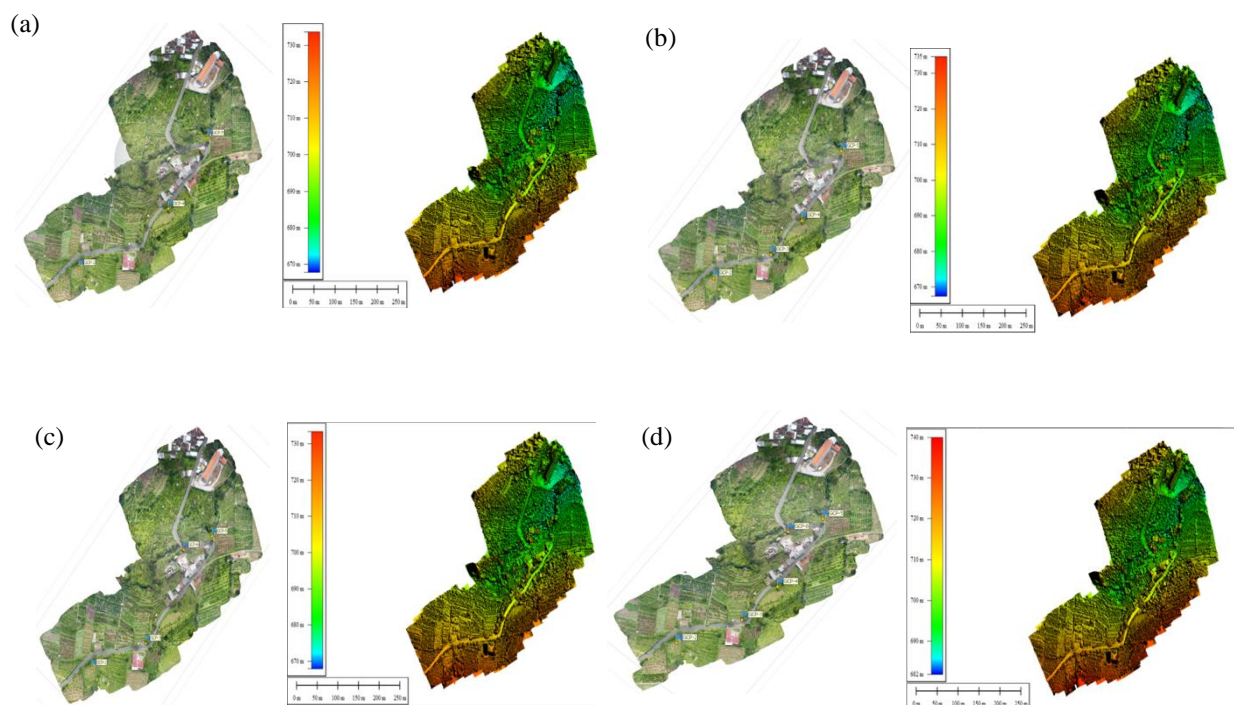
Jurnal *Qua Teknika*, (2023), 13(1): 61-74

1	ICP-1	672403.762	9122682.823	0.047	709.540	0.088
2	ICP-3	672576.205	9122879.698	0.041	683.094	0.089
3	ICP-4	672580.703	9122856.683	0.043	683.614	0.059
4	ICP-5	672586.726	9122838.461	0.045	684.373	0.088

Berdasarkan Tabel2 dan 3, maka *error* di posisi horizontal tertinggi adalah sebesar 0,059 m dan terendah adalah 0,038 m. Nilai *error* di posisi vertical tertinggi adalah sebesar 0,089 m dan terendah adalah sebesar 0,039 m.

2. Hasil Pengolahan Data Foto

Pengolahan data foot menggunakan drone ini dibagi dalam 4 skema untuk menentukan tingkat akurasi berdasarkan nilai RMSE pada posisi vertikalnya. Selain itu juga nilai RMSE pada posisi horizontal juga ditampilkan agar dapat dilakukan uji ketelitian geometrinya untuk masing-masing skema. Skema pertama terdiri dari 3 GCP, kemudian pada skema ke-2 terdiri atas 4 GCP. Fokus utama akan dilakukan pada tikungan jalan raya dan terdapat 4 GCP pada skema ke-3 ini. Dan yang terakhir yaitu GCP akan ditingkatkan menjadi 5 buah GCP untuk menguji keakurasian masing-masing posisi. Kontrol kualitas pada produk fotogrametri ini akan diverifikasi menggunakan 4 buah ICP. Setiap ICP diukur menggunakan metode penentuan posisi diferensial – static singkat (*rapid static*) selama 30 s.d. 60 menit. Hasil akurasi ICP untuk masing-masing skema ditampilkan pada tabel 4 dan representasi dari hasil pemotretan dapat dilihat model permukaan digitalnya (DEM) pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Hasil Akusisi drone dan GNSS serta Model Permukaan Digitalnya (DEM). (a) skema 3 GCP; (b) skema 4 GCP; (c) skema 4 GCP pada tikunganjalan; dan (d) skema 5 GCP

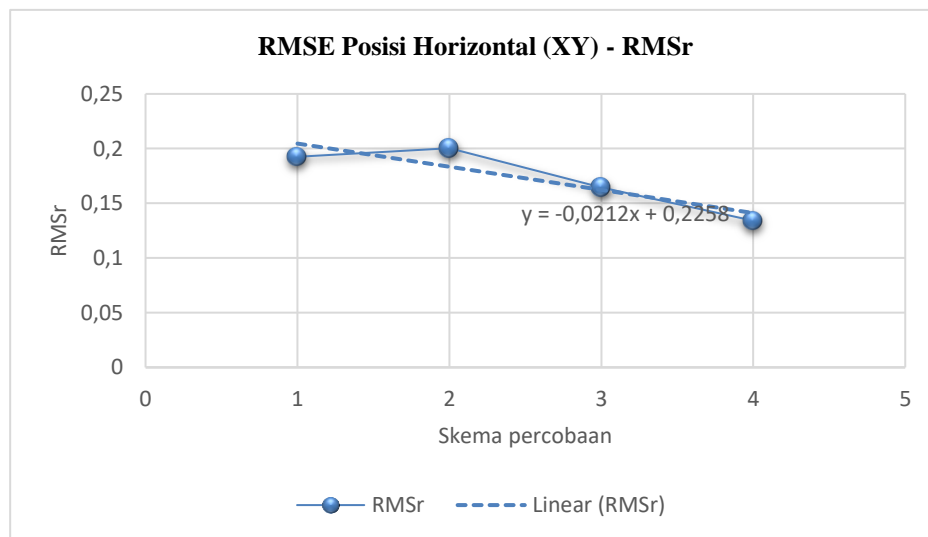
Helik Susilo¹⁾, MartinceNovianti Bani¹⁾, Anisah Nur

ANALISIS PENGARUH JUMLAH GCP (*GROUND CONTROL POINT*) TERHADAP AKURASI PETA ORTHOFOTOPADA JALAN YANG BERKARAKTER CURAM DENGAN TIKUNGAN TAJAM HASIL PEMOTRETAN UDARA METODE UAV-FOTOGARAMETRI

Jurnal *Qua Teknika*, (2023), 13(1): 61-74

3. Hasil Penentuan Nilai Akurasi

Penentuan nilai akurasi berdasarkan pada nilai RMSE pada posisi horizontal (RMSr) maupun posisi vertikal (Z) mengacu pada persamaan 2, 3, dan 4. Berdasarkan hasil perhitungan dan representasinya dapat dilihat pada grafik RMSE posisi horizontal (xy), maka dapat diasumsikan bahwa dengan penambahan jumlah GCP maka nilai RMSE semakin kecil. Dapat dilihat juga bahwa RMS tertinggi ada pada skema keduanya itu sebanyak 4 GCP, namun ketika jumlah GCP yang sama diulang pada skema keempat pada tipe jalan yang lebih curam yaitu koridor-tikungan-koridor maka terjadi penurunan, dan demikian juga apabila jumlah GCP ditingkatkan pada skema ke lima dengan jumlah GCP sebanyak 5 GCP maka RMSE pada posisi horizontal semakin kecil. Selisih nilai RMSr pada skema ketiga dan skema ke empat yaitu sebesar 0,03 m. Gambar 6 merupakan representasi dari perbandingan nilai ketelitian berdasarkan RMSE pada posisi horizontal (XY) – RMSr.



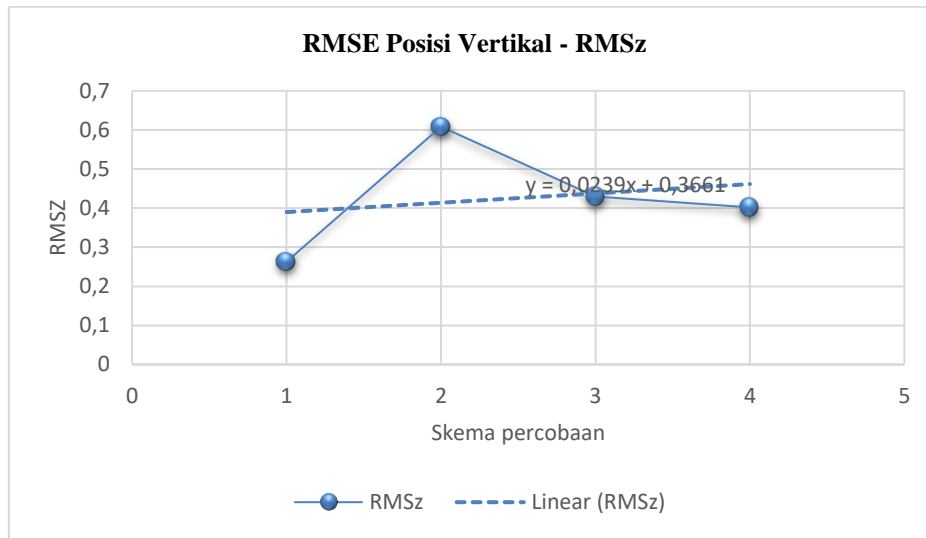
Gambar 6. Grafik RMSE posisi horizontal (xy) - RMSr

Sedangkan pada posisi vertikal, RMSZ mengalami peningkatan pada skema kedua menggunakan 4 GCP dan RMSZ terkecil ada pada skema pertama yang menggunakan 3 GCP. Namun pada skema ketiga yang dikhususkan pada koridor-tikungan-koridor jalan, nilai RMSz mulai menurun dan stabil pada skema keempat. Selisih RMSZ antara skema ketiga dan skema keempat yaitu sebesar 0,02 m.

Helik Susilo¹⁾, MartinceNovianti Bani¹⁾, Anisah Nur

ANALISIS PENGARUH JUMLAH GCP (*GROUND CONTROL POINT*) TERHADAP AKURASI PETA ORTHOFOTOPADA JALAN YANG BERKARAKTER CURAM DENGAN TIKUNGAN TAJAM HASIL PEMOTRETAN UDARA METODE UAV-FOTOGARAMETRI

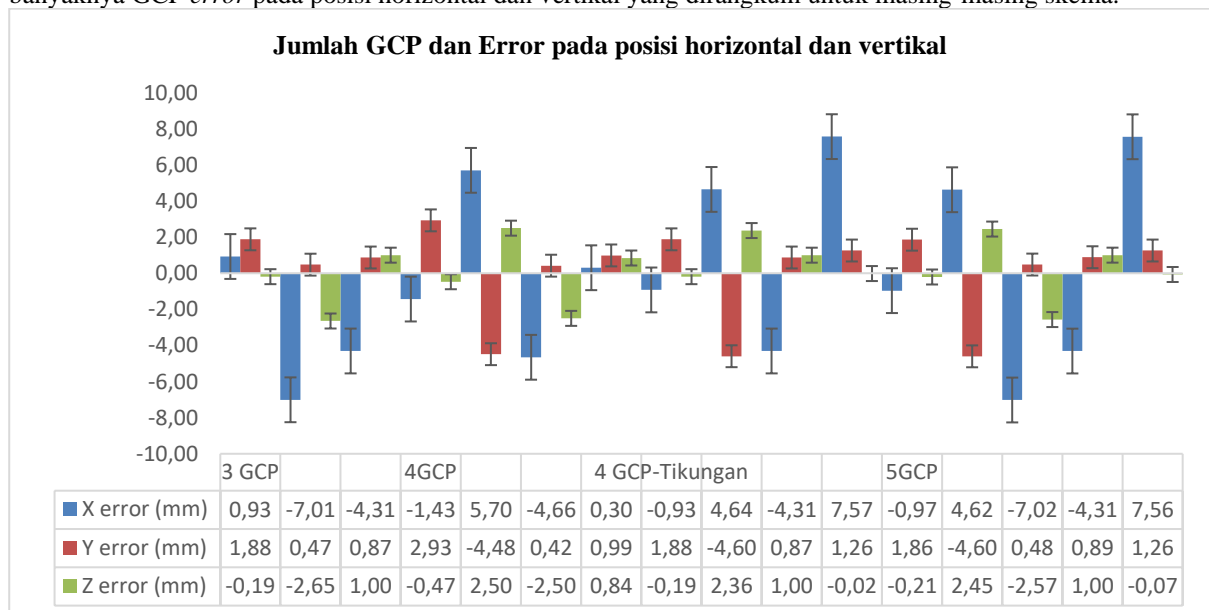
Jurnal *Qua Teknika*, (2023), 13(1): 61-74



Gambar 7. Grafik RMSE posisivertikal - RMSz

4. Hubungan antara jumlah GCP dan ICP Error

Seperti telah dikemukakan di atas bahwa untuk mengetahui besarnya jumlah kesalahan pada saat pengukuran maka nilai *error* baik GCP maupun ICP harus diselidiki. Oleh karena itu, Gambar 8 merupakan banyaknya GCP *error* pada posisi horizontal dan vertikal yang dirangkum untuk masing-masing skema.



Gambar 8. Grafik Jumlah GCP dan error pada posisi horizontal dan vertikalnya

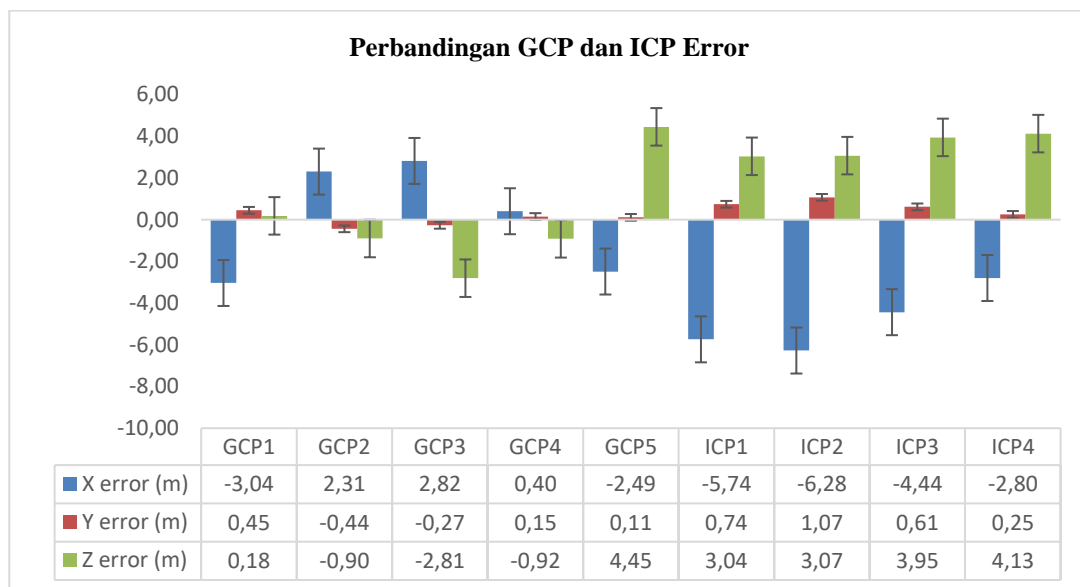
Sedangkan berdasarkan grafik pada Gambar 9, merupakan sample perbandingan GCP error dan ICP error yang mana error tertinggi untuk GCP pada posisi x berada pada GCP1 (-3,04 m), sedangkan error terendahnya

Helik Susilo¹⁾, MartinceNovianti Bani¹⁾, Anisah Nur

ANALISIS PENGARUH JUMLAH GCP (*GROUND CONTROL POINT*) TERHADAP AKURASI PETA ORTHOFOTOPADA JALAN YANG BERKARAKTER CURAM DENGAN TIKUNGAN TAJAM HASIL PEMOTRETAN UDARA METODE UAV-FOTOGRAMETRI

Jurnal *Qua Teknika*, (2023), 13(1): 61-74

ada pada GCP4 (0,40 m). Di sisi lain, error tertinggi pada posisi y berada pada GCP1 (0,44 m), sedangkan error terendahnya ada pada GCP5 (0,11 m). Kemudian, dapat diidentifikasi pula error tertinggi pada posisi vertikal (z) yaitu pada GCP5 (4,45 m) dan error terendahnya ada pada GCP1 (0,18 mm). Kemungkinan-kemungkinan yang terjadi dari tingginya *error* pada masing-masing posisi ini dapat direduksi dengan memaksimalkan waktu observasi serta mempertimbangkan posisi penempatan GCP ataupun cuaca pada saat pengamatan.



Gambar 9. Perbandingan GCP dan ICP Error

UAV berbasis pada teknik fotogrametri tidak hanya sebagai ilmu teknik, namun lebih dari itu, baik bagi pengguna maupun peneliti dari berbagai jenis bidang dan pekerjaan baik itu bidang ketekniksipilan, sosial, lingkungan, pertanian dan lain sebagainya, dapat memanfaatkan teknologi ini secara tepat guna. Oleh karena itu, jika verifikasi akurasi tanpa mempertimbangkan situasi aktual yang dihadapi pengguna maka akan sulit untuk mendapatkan data secara baik dan benar. Seperti diketahui bahwa distribusi GCP yang optimal untuk UAV fotogrametri ini telah menjadi pokok bahasan yang paling banyak dibahas dalam penelitian-penelitian terdahulu. Namun tidak sedikit juga yang memfokuskan pada akurasi vertikal untuk penggunaan lebih lanjut dalam berbagai bidang pekerjaan. Jika ditinjau dari lokasi survei yang tidak biasa, dalam artian jalan berkelok serta lokasi sekitarnya yang curam, maka secara praktis, distribusi GCP yang optimal secara teoritis tidak dapat digunakan. Faktanya, kendala-kendala seperti arus lalu lintas, tutupan lahan baik itu pemukiman maupun area perkebunan dan hutan campuran sangat berpengaruh sehingga penempatan GCP tidak dapat dilakukan sepenuhnya di pinggir jalan dengan panjang baseline pengukuran GCP yang sama. Sehingga pola yang ideal tidak dapat tercapai. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa, penetapan skema distribusi GCP sebanyak 4 skema dengan peningkatan jumlah GCP pada masing-masing skema maka nilai akurasi posisi vertikal, berdasarkan RMSz semakin baik. Alasan dibahasnya akurasi konfigurasi GCP ini terhadap nilai posisi horizontal dan vertikal yaitu tujuan akhirnya untuk mendapatkan peta orthofoto yang siap digunakan untuk pekerjaan bidang teknik lainnya. Misalkan untuk pelebaran jalan, pemantauan jalan serta kedepannya dapat digunakan juga untuk pemantauan perubahan lahan.

Untuk membuat peta orthofoto dengan skala tertentu maka perlu dipertimbangkan ketelitian geometri. Oleh karena itu, untuk mendapatkan nilai ketelitian geometri maka nilai CE90 dan LE90 diterapkan, yang

Helik Susilo¹⁾, MartinceNovianti Bani¹⁾, Anisah Nur

ANALISIS PENGARUH JUMLAH GCP (*GROUND CONTROL POINT*) TERHADAP AKURASI PETA ORTHOFOTOPADA JALAN YANG BERKARAKTER CURAM DENGAN TIKUNGAN TAJAM HASIL PEMOTRETAN UDARA METODE UAV-FOTOGRAMETRI

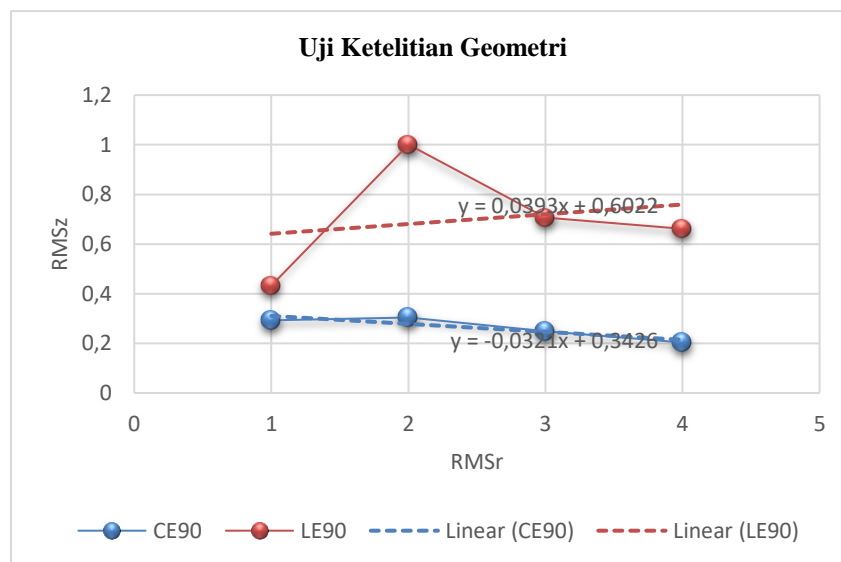
Jurnal *Qua Teknika*, (2023), 13(1): 61-74

mana nilai tersebut diperoleh dari $CE90 = 1,5175 \times RMSE_r$ dan $LE90 = 1,64499 \times RMSE_z$, dengan $RMSE_r$ merupakan *Root Mean Square Error* pada posisi x dan y (horizontal) sedangkan $RMSE_z$ merupakan *Root Mean Square Error* pada posisi z (vertikal) [18]. Sehingga berdasarkan keempat skema pengujian yang diterapkan maka dapat dibuat peta dengan ketelitian peta berdasarkan ketelitian horizontal dan vertikalnya yang merujuk pada table 4 berikut ini.

Tabel 4. Ketelitian Geometri

Skema	Percobaan	RMSE (XY)	RMSE (Z)	CE90	LE90
1	3 GCP	0,193	0,262941533	0,292	0,432536193
2	4 GCP	0,200	0,608245427	0,304	1,000557646
3	4 GCP (tikungan Jalan)	0,164	0,429717931	0,249	0,706881699
4	5 GCP	0,134	0,401985696	0,203	0,66126245

Kemudian, berdasarkan tabel di atas maka ketelitian geometrinya direpresentasikan oleh grafik pada Gambar 10, di mana jika dilihat dari skema 1 s.d. 4 maka ketelitian terbaik ada pada skema 4 dengan jumlah GCP sebanyak 5 GCP dan jika difokuskan pada tikungan maka selisih pada posisi horizontal yaitu sebesar 0,03 meter, sedangkan selisih pada posisi vertical yaitu 0,02 meter.



Gambar 10. Uji ketelitian geometri

KESIMPULAN

Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan pada metode UAV fotogrametri dan kombinasi dengan GNSS metode static diferensial di ruas jalan sepanjang 408 meter, berlokasi di Jl. Sempu, Dau, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Empat skema diterapkan untuk mengevaluasi nilai akurasi horizontal maupun vertikal untuk pembuatan peta orthofoto, sehingga dapat ditentukan hubungan antara konfigurasi GCP dengan akurasi peta orthofoto yang dihasilkan.

Helik Susilo¹⁾, MartinceNovianti Bani¹⁾, Anisah Nur

**ANALISIS PENGARUH JUMLAH GCP (*GROUND CONTROL POINT*) TERHADAP AKURASI
PETA ORTHOFOTOPADA JALAN YANG BERKARAKTER CURAM DENGAN TIKUNGAN
TAJAM HASIL PEMOTRETAN UDARA METODE UAV-FOTOGRAMETRI**

Jurnal *Qua Teknika*, (2023), 13(1): 61-74

Hasil menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah GCP yang dipakai maka rasio aspek konfigurasi GCP yang ditentukan dari nilai RMSE baik itu pada posisi horizontal maupun posisi vertical semakin kecil. Kemudian pada kasus khusus di ruas jalan, kombinasi lengkung peralihan-tikungan (lengkung bolak-balik)-lengkung peralihan dan daerahnya cukup curam, nilai RMSE pada kedua posisi baik itu horizontal maupun vertikal juga cenderung lebih kecil.

Yang terakhir, berdasarkan penelitian ini, penempatan GCP mampu meningkatkan nilai kesalahan sehingga perlu adanya kombinasi yang sesuai terutama pada daerah yang cenderung curam dan berkelok sehingga dapat meminimalisir kesalahan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu peneliti dan masyarakat pengguna UAV fotogrametri untuk mendapatkan data yang dapat dipercaya, dan dapat berkontribusi bagi penelitian selanjutnya serta membantu meningkatkan akurasi dalam survei dan pemetaan yang berdasar pada UAV fotogrametri.

Abbreviations

UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
GCP	<i>Ground Control Point</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
SfM	<i>Structure from Motion</i>
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>
RMSr	<i>Root Mean Square (XY position)</i>
RMSz	<i>Root Mean Square (Z position)</i>
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
DSM	<i>Digital Surface Model</i>

REFERENSI

1. K. Zhang, H. Okazawa, K. Hayashi, T. Hayashi, L. Fiwa, and S. Maskey, "Optimization of Ground Control Point Distribution for Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry for Inaccessible Fields," *Sustainability*, vol. 14, no. 15, p. 9505, Aug. 2022, [doi: 10.3390/su14159505](https://doi.org/10.3390/su14159505).
2. S. Alexiou, G. Deligiannakis, A. Pallikarakis, I. Papanikolaou, E. Psomiadis, and K. Reicherter, "Comparing High Accuracy t-LiDAR and UAV-SfM Derived Point Clouds for Geomorphological Change Detection," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 10, no. 6, p. 367, May 2021, [doi: 10.3390/ijgi10060367](https://doi.org/10.3390/ijgi10060367).
3. Y. Jo and S. Hong, "Three-Dimensional Digital Documentation of Cultural Heritage Site Based on the Convergence of Terrestrial Laser Scanning and Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 8, no. 2, p. 53, Jan. 2019, [doi: 10.3390/ijgi8020053](https://doi.org/10.3390/ijgi8020053).
4. Y. Tan and Y. Li, "UAV Photogrammetry-Based 3D Road Distress Detection," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 8, no. 9, p. 409, Sep. 2019, [doi: 10.3390/ijgi8090409](https://doi.org/10.3390/ijgi8090409).
5. H. He, T. Chen, H. Zeng, and S. Huang, "Ground Control Point-Free Unmanned Aerial Vehicle-Based Photogrammetry for Volume Estimation of Stockpiles Carried on Barges," *Sensors*, vol. 19, no. 16, p. 3534, Aug. 2019, [doi: 10.3390/s19163534](https://doi.org/10.3390/s19163534).
6. D. Cirillo, F. Cerritelli, S. Agostini, S. Bello, G. Lavecchia, and F. Brozzetti, "Integrating Post-Processing Kinematic (PPK)-Structure-from-Motion (SfM) with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry and Digital Field Mapping for Structural Geological Analysis," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 11, no. 8, p. 437, Aug. 2022, [doi: 10.3390/ijgi11080437](https://doi.org/10.3390/ijgi11080437).

Helik Susilo¹⁾, MartinceNovianti Bani¹⁾, Anisah Nur

**ANALISIS PENGARUH JUMLAH GCP (*GROUND CONTROL POINT*) TERHADAP AKURASI
PETA ORTHOFOTOPADA JALAN YANG BERKARAKTER CURAM DENGAN TIKUNGAN
TAJAM HASIL PEMOTRETAN UDARA METODE UAV-FOTOGARAMETRI**

Jurnal *Qua Teknika*, (2023), 13(1): 61-74

7. M. H. Chaudhry, A. Ahmad, and Q. Gulzar, "Impact of UAV Surveying Parameters on Mixed Urban Landuse Surface Modelling," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 9, no. 11, p. 656, Oct. 2020, [doi: 10.3390/ijgi9110656](https://doi.org/10.3390/ijgi9110656).
8. J.M. Read and M. Torrado. Remote Sensing. *International Encyclopedia of Human Geography* 2009, Pages 335-346, doi: 10.1016/B978-008044910-4.00508-3.
9. V. Šafář et al., "The Use of UAV in Cadastral Mapping of the Czech Republic," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 10, no. 6, p. 380, Jun. 2021, [doi: 10.3390/ijgi10060380](https://doi.org/10.3390/ijgi10060380).
10. J. Yang, X. Li, L. Luo, L. Zhao, J. Wei, and T. Ma, "New Supplementary Photography Methods after the Anomalous of Ground Control Points in UAV Structure-from-Motion Photogrammetry," *Drones*, vol. 6, no. 5, p. 105, Apr. 2022, [doi: 10.3390/drones6050105](https://doi.org/10.3390/drones6050105).
11. Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia. Peraturan Badan Informasi Geospasial tentang Tata Cara Penyelenggaraan Informasi Geospasial, No. 18 Tahun 2021. Perbig 2021. [Reff]
12. Agüera-Vega, F.; Carvajal-Ramírez, F.; Martínez-Carricondo, P.J.; Sánchez-Hermosilla López, J. Reconstruction of Earth Extreme Topography from UAV Structure from Motion Photogrammetry. *Preprints* 2017, 2017040012. <https://www.preprints.org/manuscript/201704.0012/v1>.
13. P. Martínez-Carricondo, F. Agüera-Vega, and F. Carvajal-Ramírez, "Use of UAV-Photogrammetry for Quasi-Vertical Wall Surveying," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 14, p. 2221, Jul. 2020, [doi: 10.3390/rs12142221](https://doi.org/10.3390/rs12142221).
14. Sanz-Ablanedo, J. Chandler, J. Rodríguez-Pérez, and C. Ordóñez, "Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and SfM Photogrammetry Survey as a Function of the Number and Location of Ground Control Points Used," *Remote Sensing*, vol. 10, no. 10, p. 1606, Oct. 2018, [doi: 10.3390/rs10101606](https://doi.org/10.3390/rs10101606).
15. D. Bolkas, "Assessment of GCP Number and Separation Distance for Small UAS Surveys with and without GNSS-PPK Positioning," *Journal of Surveying Engineering* 2019, 3, 145. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000283](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000283).
16. E. Ferrer-González, F. Agüera-Vega, F. Carvajal-Ramírez, and P. Martínez-Carricondo, "UAV Photogrammetry Accuracy Assessment for Corridor Mapping Based on the Number and Distribution of Ground Control Points," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 15, p. 2447, Jul. 2020, [doi: 10.3390/rs12152447](https://doi.org/10.3390/rs12152447).
17. Badan Informasi Geospasial Indonesia. Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No.15 Tahun 2014 tentang pedoman teknis ketelitian peta dasar. [Reff]
18. Badan Informasi Geospasial Indonesia. Peraturan Badan Informasi Geospasial No. 6 Tahun 2018 tentang perubahan atas peraturan kepala Badan Informasi Geospasial No.15 Tahun 2014 tentang pedoman teknis ketelitian peta dasar. [Reff]