



Analisis Jumlah dan Distribusi Ground Control Point Yang Efektif dan Efisien Pada Pemetaan Foto Udara

(Studi Kasus di Desa Kohong, Kecamatan Barito Tuhup Raya, Kabupaten Murung Raya, Provinsi Kalimantan Tengah)

Hangger Aqium Mohammad Pandego^{1*}, Fajrin Fajrin², Dwi Arini³

¹⁻³Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang, Indonesia

Alamat: Jalan Dpr Kawasan Bypass, Air Pecah, Kec. Koto Tengah, Kota Padang, Prov. Sumatera Barat

Korespondensi Penulis : 2023510028.hanggeraqium@itp.ac.id*

Abstract. Aerial photo mapping requires Control Points (CP). The Indonesian National Standard 8202:2019 regulates the number of CPs needed. The smallest area regulated is less than 250 km². Projects with an area of less than 1 km² have the same number of CPs as those with an area of less than 250 km². This is neither effective nor efficient because the CP work depends on the number of workers and requires time based on access to the project site. This study aims to identify the minimum number of CPs and the appropriate distribution of CPs for aerial photo mapping at a scale of 1:2,500 class 1 that is effective and efficient in terms of time and cost. The study uses seven schemes. Schemes 1 and 7 use 4 Ground Control Points (GCP) and 5 Independent Control Points (ICP). Scheme 2 uses 5 GCPs and 4 ICPs. Schemes 3, 4, 5, and 6 use 3 GCPs and 6 ICPs. Each scheme will be evaluated based on CE90 and LE90 values. The maximum CE90 value is 0.75 m, and the LE90 value is 0.5 m. The effective and efficient scheme in terms of time and cost is determined by the number of GCPs used, as well as the CE90 and LE90 values. The results indicate that all schemes have CE90 and LE90 values below the maximum standard. Scheme 4 is identified as the most effective due to having the highest CE90 and LE90 values among the schemes, with CE90 at 0.028 m and LE90 at 0.448 m. Scheme 4 is also identified as the most efficient because it uses a minimal number of GCPs—only three—distributed diagonally from the Southeast to the Northwest in the project area.

Keywords: Aerial Photo, Drone, GCP effective and efficient, CE90, LE90

Abstrak. Pemetaan foto udara memerlukan Control Point (CP). Standar Nasional Indonesia 8202:2019 mengatur jumlah CP yang diperlukan. Luas area terkecil yang diatur adalah kurang dari 250 Km². Pekerjaan dengan luas kurang dari 1 km² mempunyai jumlah CP yang sama dengan pekerjaan dengan luas kurang dari 250 km². Ini tidak efektif dan efisien dikarenakan pekerjaan CP bergantung pada jumlah tenaga kerja dan membutuhkan waktu dikarenakan bergantung pada akses menuju lokasi pekerjaan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi jumlah CP minimum dan distribusi CP yang tepat pada pemetaan foto udara skala 1:2.500 kelas 1 yang efektif dan efisien secara waktu dan biaya. Penelitian menggunakan tujuh skema. Skema 1 dan 7 menggunakan 4 Ground Control Point (GCP) dan 5 Independent Control Point (ICP). Skema 2 menggunakan 5 GCP dan 4 ICP. Skema 3, 4, 5 dan 6 menggunakan 3 GCP dan 6 ICP. Setiap skema akan dihitung nilai CE90 dan LE90. Nilai maksimum CE90 adalah 0,75 m dan LE90 adalah 0,5 m. Skema yang efektif dan efisien secara waktu dan biaya ditentukan dari jumlah GCP yang digunakan, nilai CE90 dan nilai LE90. Hasil penelitian menyimpulkan nilai CE90 dan LE90 berada semua skema berada di bawah standar maksimum. Skema 4 teridentifikasi sebagai skema yang efektif dikarenakan mempunyai nilai CE90 dan nilai LE90 tertinggi di antara skema lainnya yaitu CE90 sebesar 0,028 m dan LE90 sebesar 0,448. Skema 4 teridentifikasi sebagai skema yang efisien dikarenakan menggunakan GCP yang sedikit yaitu tiga GCP dan didistribusikan secara diagonal dari sisi Selatan – Timur ke sisi Utara – Barat pada area kerja.

Kata kunci: Foto Udara, Drone, GCP efektif dan efisien, CE90, LE90

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan informasi geospasial (IG) ataupun peta yang berkualitas dan mudah diintegrasikan sangat diperlukan untuk mendukung berbagai proses pembangunan dan dasar perencanaan penataan ruang, penanggulangan bencana, pengelolaan sumber daya alam, sumber daya manusia dan sumber daya lainnya sehingga dapat dimanfaatkan sebesar-besarnya bagi kemakmuran rakyat Indonesia. Pembangunan IG erat kaitannya dengan teknologi dan inovasi. Hal ini juga sejalan dengan perkembangan industri dengan lahirnya teknologi proses akuisisi data seperti sensor seperti lidar dan sensor optic lainnya, wahana terbaru (berupa satelit dan pesawat tanpa awak) hingga perangkat lunak untuk pemrosesan hasil akuisisi dan aplikasi pemanfaatan data geospasial (Karsidi, 2016). IG yang dihasilkan dengan menggunakan teknologi pesawat tanpa awak dalam proses akuisisi datanya merupakan bagian dari metode fotogrametri.

Fotogrametri adalah seni, ilmu pengetahuan dan teknologi dalam mendapatkan data fisik objek dan lingkungan di sekitarnya secara akurat melalui proses perekaman, pengukuran dan interpretasi gambar dan pola radiasi gelombang elektromagnetik dan fenomena alam lainnya (Frazier et al, 2021). Fotogrametri menggunakan teknologi pesawat tanpa awak dapat menjadi alternatif dikarenakan mempunyai biaya produksi yang lebih rendah, resolusi temporal dan spasial yang tinggi, dan fleksibilitas dalam proses akuisisi gambar permukaan bumi dibandingkan dengan akuisisi menggunakan sensor yang diletakkan pada pesawat udara dan akuisisi menggunakan sensor pada satelit (Westoby et al, 2012).

Akurasi akuisisi data fotogrametri menggunakan teknologi pesawat tanpa awak dipengaruhi beberapa faktor yaitu jumlah dan distribusi *Ground Control Point (GCP)*, ketinggian penerbangan, morfologi permukaan, metodologi kalibrasi kamera, *image overlap* dan penggabungan gambar *oblique* (Aguera et al, 2017). *GCP* adalah bagian dari *Control Point (CP)* dimana *CP* terbagi menjadi *Ground Control Point (GCP)* dan *Independent Control Point (ICP)*. Pada Peraturan BIG No 1 Tahun 2020 menjelaskan bahwa posisi *GCP* dapat dipasangkan pada pojok, perimeter dan tengah dari blok area pekerjaan. Namun pada peraturan tersebut tidak dijelaskan secara spesifik terkait pengaruh luasan area pekerjaan terhadap jumlah *GCP* yang digunakan dan tidak dijelaskan juga secara spesifik terkait standarisasi jarak antar *GCP*. Parameter jumlah *ICP* yang diperlukan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 8202:2019 tentang Ketelitian Peta Dasar. Adapun luasan area terkecil yang diatur adalah pekerjaan pada luasan area yang kurang dari 250 Km².

Standar tersebut mengatur jika dibutuhkan 12 titik uji dengan jarak minimum antar titik uji adalah sebesar 10% dari panjang diagonal area pekerjaan.

SNI 8202:2019 menyamakan standar pekerjaan yang mempunyai luasan 250 km² dengan pekerjaan yang mempunyai luasan kurang dari 1 km². Pekerjaan dengan luasan 1 km² menjadi tidak efektif dan tidak efisien dikarenakan membutuhkan dua belas titik uji dan menyebabkan biaya jumlah tenaga kerja dan waktu kerja semakin meningkat. Dimana Son (2020) menyatakan bahwa pekerjaan pemasangan *CP* merupakan pekerjaan yang bergantung pada jumlah tenaga kerja, memakan waktu dan sangat bergantung pada akses menuju lokasi pekerjaan. Selain itu Astuti (2019) menyatakan bahwa bekerja dengan efisien adalah bekerja dengan gerakan, usaha, waktu dan kelelahan yang sedikit mungkin. Sedangkan Berliana (2022) menyatakan jika efektif berasal dari Bahasa Inggris yang mempunyai arti berhasil dalam mencapai tujuan yang telah ditetapkan.

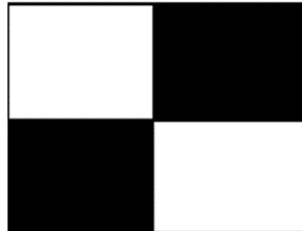
Lokasi penelitian dilaksanakan pada Desa Kohong, Kecamatan Barito Tuhup Raya, Kabupaten Murung Raya, Provinsi Kalimantan Tengah. Desa Kohong mempunyai luas 124 km². Di Desa Kohong terdapat kompleks area dengan area of interest berbentuk relatif kotak dan mempunyai luasan area kurang dari 1 km². Kompleks area tersebut berisi rumah pemukiman, gedung perkantoran, gedung olahraga, rumah ibadah, lapangan, jalan setapak dan area semak – semak. Dengan mempertimbangkan kompleksitas kondisi area yang beraneka ragam padat maka Penulis menilai jika area ini dapat menjadi lokasi penelitian untuk menentukan pengaruh jumlah dan distribusi *GCP* terhadap akurasi data hasil pengukuran pesawat tanpa awak dengan luasan area kurang dari 1 km². Sehingga penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan terhadap pekerjaan fotogrametri dengan kondisi area yang sama.

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi jumlah *GCP* minimum dan mengidentifikasi distribusi *GCP* untuk menghasilkan data pemetaan foto udara yang efektif dan efisien secara waktu dan biaya. Pada penelitian ini diharapkan dapat mengidentifikasi jumlah *GCP* minimum yang dibutuhkan dan penentuan distribusi *GCP* yang tepat agar dapat menghasilkan peta foto udara yang akurat pada luasan area kerja kurang dari 1 km².

2. METODE

Lokasi penelitian pada **Gambar 1** dilaksanakan pada Desa Kohong, Kecamatan Barito Tuhup Raya, Kabupaten Murung Raya, Provinsi Kalimantan Tengah. Desa Kohong mempunyai luas

Pembuatan *area of interest* diperlukan dalam pemetaan foto udara. *Area of interest* dibuatkan dalam bentuk persegi simetris dengan dimensi 400 x 600 meter. Pemetaan foto udara memerlukan *premark*. *Premark* diperuntukan sebagai *control point* yang akan dikategorikan menjadi *GCP* dan *ICP*. *Premark* dibuat menggunakan bahan banner dengan ukuran 1 x 1 meter seperti **Gambar 3**.



Gambar 3. Ilustrasi bentuk premark

Pembuatan *area of interest* diperlukan dalam pemetaan foto udara. *Area of interest* dibuatkan dalam bentuk persegi simetris dengan dimensi 400 x 600 meter. Pemetaan foto udara memerlukan *premark*. *Premark* diperuntukan sebagai *control point* yang akan dikategorikan menjadi *GCP* dan *ICP*. *Premark* dibuat menggunakan bahan banner dengan ukuran 1 x 1 meter seperti **Gambar 3**. *Premark* diletakkan di dalam *area of interest*. Pada **Gambar 4**, bintang merah menunjukkan titik yang akan dilakukan pengukuran koordinatnya.



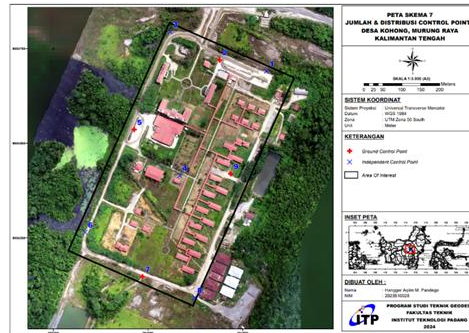
Gambar 4. Titik yang diukur pada premark



Gambar 5. Peta distribusi control point

Control point yang digunakan pada penelitian ini berjumlah sembilan buah. Sembilan *control point* diletakkan seperti pada **Gambar 5**. Koordinat *control point* diukur menggunakan *GNSS* Stonex S850A metode RTK Radio. Selanjutnya sembilan *control point*

tersebut dimodifikasi dan dikategorikan menjadi *GCP* dan *ICP* ke dalam tujuh skema seperti pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Peta skema jumlah dan distribusi control points

Akuisisi foto udara menggunakan parameter *forward overlap* sebesar 80%, *side overlap* sebesar 70% dan tinggi terbang diatur pada ketinggian 200 meter. Kemudian data akuisisi foto udara diolah menggunakan perangkat lunak Agisoft Metashape Professional 64-bit. Adapun tahapan pengolahan foto udara adalah pembuatan *project*, *import* data foto udara, *align* foto udara, *build dense point cloud* data, *build DEM* data, *build orthophoto* data.

Setelah pengolahan data foto udara maka didapatkan nilai koordinat hasil pengolahan. Nilai koordinat hasil pengolahan dibandingkan dengan nilai koordinat hasil pengukuran GNSS Stonex S850A RTK Radio. Selisih nilai koordinat tersebut digunakan untuk menentukan nilai $RMSE_r$, $RMSE_z$, CE90 dan LE90. Keempat nilai tersebut dapat diketahui dengan menggunakan rumus 1, 2, 3 dan 4.

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{data_i} - X_{cek_i})^2 + (Y_{data_i} - Y_{cek_i})^2}{n}} \dots\dots\dots(1)$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{data_i} - Z_{cek_i})^2}{n}} \dots\dots\dots(2)$$

$$CE\ 90 = 1,5175 \times RMSE_r \dots\dots\dots(3)$$

$$LE\ 90 = 1,6499 \times RMSE_z \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

$RMSE_r$: RMSE komponen horizontal

$RMSE_z$: RMSE komponen vertical

n : jumlah pengamatan

X : koordinat *Easting* (UTM)

Y : koordinat *Northing* (UTM)

Z : koordinat tinggi (ortometrik)

Tabel 1. Ketelitian geometri peta

No	Skala	Interval Kontur (m)	Ketelitian Peta RBI	
			Kelas 1	
			Horisontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)
1.	1:25.000	10	7,5	5
2.	1:10.000	4	3	2
3.	1:5.000	2	1,5	1
4.	1:2.500	1	0,75	0,5
5.	1:1.000	0,4	0,3	0,2

Sumber: *Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No 15 Tahun 2014*

Peta foto udara yang dihasilkan pada penelitian ini adalah peta dengan skala 1:2.500 kelas 1. Sehingga berdasarkan **Tabel 1** dapat diketahui bahwa pada penelitian ini standar nilai CE90 adalah 0,75 meter dan standar nilai LE90 adalah 0,5 meter.

Metode Skema 1

Sembilan *control points* yang diukur kemudian dikategorikan menjadi dua yaitu empat *control points* sebagai *GCP* dan lima *control points* sebagai *ICP*. Empat *GCP* didistribusikan pada setiap pojok *area of interest*. Empat *GCP* tersebut adalah *control points* nomor 1, 3, 6, 8. Lima *ICP* didistribusikan di antara *GCP* dan di tengah *area of interest*. Lima *ICP* tersebut adalah *control points* nomor 2, 4, 5, 7, 9.

Metode Skema 2

Sembilan *control points* yang diukur kemudian dikategorikan menjadi dua yaitu lima *control points* sebagai *GCP* dan empat *control points* sebagai *ICP*. Lima *GCP* didistribusikan pada setiap pojok dan area tengah dari *area of interest*. Lima *GCP* tersebut adalah *control points* nomor 1, 3, 4, 6 dan 8. Empat *ICP* didistribusikan di antara *GCP*. Empat *ICP* tersebut adalah *control points* nomor 2, 5, 7, 9.

Metode Skema 3

Sembilan *control points* yang diukur kemudian dikategorikan menjadi dua yaitu tiga *control points* sebagai *GCP* dan enam *control points* sebagai *ICP*. Tiga *GCP* didistribusikan secara diagonal (dari arah pojok Selatan – Barat ke arah pojok Utara – Timur) dari *area of interest*. Tiga *GCP* tersebut adalah *control points* nomor 1, 4 dan 6. Enam *control points* kemudian didistribusikan di beberapa area pojok dan area tengah dari *area of interest*. Enam *ICP* tersebut adalah *control points* nomor 2, 3, 5, 7, 8 dan 9.

Metode Skema 4

Sembilan *control points* yang diukur kemudian dikategorikan menjadi dua yaitu tiga *control points* sebagai *GCP* dan enam *control points* sebagai *ICP*. Tiga *GCP* didistribusikan secara diagonal (dari arah pojok Selatan – Timur ke arah pojok Utara – Barat) dari *area of interest*. Tiga *GCP* tersebut adalah *control points* nomor 3, 4 dan 8. Enam *control points* kemudian didistribusikan di beberapa area pojok dan area tengah dari *area of interest*. Enam *ICP* tersebut adalah *control points* nomor 1, 2, 5, 6, 7 dan 9.

Metode Skema 5

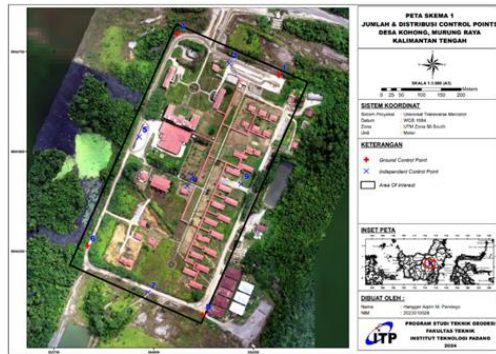
Sembilan *control points* yang diukur kemudian dikategorikan menjadi dua yaitu tiga *control points* sebagai *GCP* dan enam *control points* sebagai *ICP*. Tiga *GCP* tersebut adalah *control points* nomor 2, 6 dan 8. Enam *control points* kemudian didistribusikan di beberapa area pojok dan area tengah dari *area of interest*. Enam *ICP* tersebut adalah *control points* nomor 1, 3, 4, 5, 7 dan 9.

Metode Skema 6

Sembilan *control points* yang diukur kemudian dikategorikan menjadi dua yaitu tiga *control points* sebagai *GCP* dan enam *control points* sebagai *ICP*. Tiga *GCP* didistribusikan dengan membentuk pola segitiga dan diletakkan pada pojok Utara – Timur, pojok Utara – Barat dan sisi tengah Selatan dari *area of interest*. Tiga *GCP* tersebut adalah *control points* nomor 1, 3 dan 7. Enam *control points* kemudian didistribusikan di beberapa area pojok dan area tengah dari *area of interest*. Enam *ICP* tersebut adalah *control points* nomor 2, 4, 5, 6, 8 dan 9.

Metode Skema 7

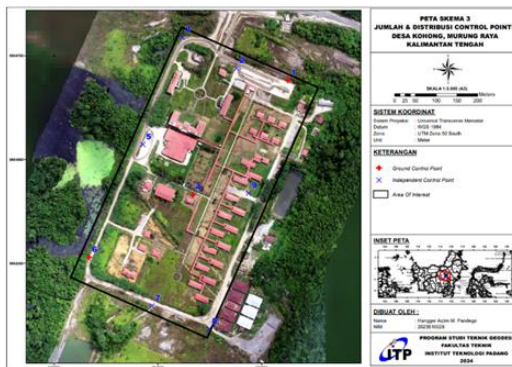
Sembilan *control points* yang diukur kemudian dikategorikan menjadi dua yaitu empat *control points* sebagai *GCP* dan lima *control points* sebagai *ICP*. Tiga *GCP* didistribusikan dengan membentuk pola bujur sangkar dan diletakkan pada sisi tengah Utara, sisi tengah Timur, sisi tengah Selatan dan sisi tengah Barat dari *area of interest*. Empat *GCP* tersebut adalah *control points* nomor 2, 5, 7 dan 9. Lima *control points* kemudian didistribusikan di beberapa area pojok dan area tengah dari *area of interest*. Lima *ICP* tersebut adalah *control points* nomor 1, 3, 4, 6 dan 8.



(a) Peta skema 1 jumlah dan distribusi control points



(b) Peta skema 2 jumlah dan distribusi control points



(c) Peta skema 3 jumlah dan distribusi control points



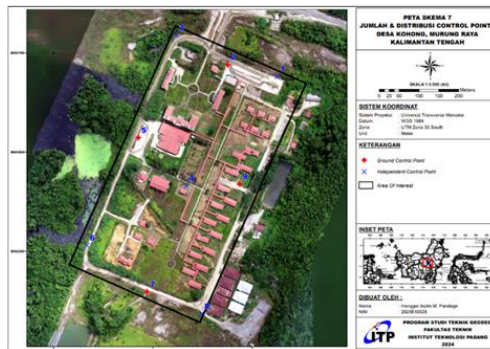
(d) Peta skema 4 jumlah dan distribusi control points



(e) Peta skema 5 jumlah dan distribusi control points



(f) Peta skema 6 jumlah dan distribusi control points



(g) Peta skema 7 jumlah dan distribusi control points

Gambar 6. Peta skema jumlah dan distribusi control points

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran Koordinat Control Point

Pengukuran *control points* menggunakan *Global Navigation Satellite System (GNSS) Stonex S850A*. *Control points* berjumlah sembilan buah. Sembilan *Control Points* tersebut diklasifikasikan menjadi dua yaitu *Ground Control Points (GCP)* dan *Independent Control Points (ICP)*.

Tabel 2. Daftar koordinat *control points*

Nomor Control Point	Easting (M)	Northing (M)	Elevation (M)
1	264.313,430	9.954.690,824	63,977

2	264.189,212	9.954.719,958	65,768
3	264.058,791	9.954.794,183	65,615
4	264.083,805	9.954.413,720	67,607
5	263.963,740	9.954.535,856	67,159
6	263.833,926	9.954.263,720	66,299
7	263.985,730	9.954.146,640	68,415
8	264.122,856	9.954.091,542	68,964
9	264.218,850	9.954.418,433	64,691

Selisih Koordinat *ICP* Nomor 1

Tabel 3. Selisih Koordinat *ICP* Nomor 1

Skema	Δ Easting (M)	Δ Northing (M)	Δ Elevation (M)
Skema 4	-0,005	0	-0,341
Skema 5	0,022	-0,022	0,026
Skema 7	0,023	-0,003	-0,009

Koordinat *ICP* nomor 1 didapatkan dari hasil pengolahan pada skema 4, 5 dan 7. Hasil koordinat planimetris (XY) dari ketiga skema menunjukkan bahwa selisih koordinat berada dalam rentang kesalahan centimeter. Namun hasil koordinat tinggi (Z) dari ketiga skema terdapat perbedaan. Skema 5 dan 7 mempunyai selisih koordinat tinggi dalam rentang kesalahan centimeter sedangkan skema 4 mempunyai selisih koordinat tinggi dalam rentang kesalahan desimeter. Hal ini dikarenakan posisi *ICP* nomor 1 pada skema 3 mempunyai jarak interpolasi yang relatif jauh dari GCP terdekat.

Selisih Koordinat *ICP* Nomor 2

Tabel 4. Selisih Koordinat *ICP* Nomor 2

Skema	Δ Easting (M)	Δ Northing (M)	Δ Elevation (M)
Skema 1	0,002	0,032	0,03
Skema 2	0,001	0,031	0
Skema 3	-0,005	0,036	-0,053
Skema 4	0,016	0,018	-0,142
Skema 6	0,009	0,019	0,015

Koordinat *ICP* nomor 2 didapatkan dari hasil pengolahan pada skema 1, 2, 3, 4 dan 6. Hasil koordinat planimetris (XY) dari kelima skema menunjukkan bahwa selisih koordinat berada dalam rentang kesalahan centimeter. Namun hasil koordinat tinggi (Z) dari kelima skema terdapat perbedaan. Skema 1, 2, 3 dan 6 mempunyai selisih koordinat tinggi dalam rentang kesalahan centimeter sedangkan skema 4 mempunyai selisih koordinat tinggi dalam rentang kesalahan desimeter. Hal ini dikarenakan posisi *ICP* nomor 2 pada skema 4 mempunyai jarak interpolasi yang relatif jauh dari GCP terdekat.

Selisih Koordinat ICP Nomor 3

Tabel 6. Selisih Koordinat ICP Nomor 3

Skema	Δ Easting (M)	Δ Northing (M)	Δ Elevation (M)
Skema 3	-0,028	0,032	-0,116
Skema 5	-0,006	0,01	0,057
Skema 7	-0,015	0,02	0,001

Koordinat ICP nomor 3 didapatkan dari hasil pengolahan pada skema 3, 5 dan 7. Hasil koordinat planimetris (XY) dari ketiga skema menunjukkan bahwa selisih koordinat berada dalam rentang kesalahan centimeter. Namun hasil koordinat tinggi (Z) dari ketiga skema terdapat perbedaan. Skema 5 dan 6 mempunyai selisih koordinat tinggi dalam rentang kesalahan centimeter sedangkan skema 3 mempunyai selisih koordinat tinggi dalam rentang kesalahan desimeter. Hal ini dikarenakan posisi ICP nomor 3 pada skema 3 mempunyai jarak interpolasi yang relatif jauh dari GCP terdekat.

Selisih Koordinat ICP Nomor 4

Tabel 7. Selisih Koordinat ICP Nomor 4

Skema	Δ Easting (M)	Δ Northing (M)	Δ Elevation (M)
Skema 1	-0,011	0,012	0,165
Skema 5	-0,019	0,006	0,115
Skema 6	-0,001	0,015	0,14
Skema 7	-0,005	0,018	-0,045

Koordinat ICP nomor 4 didapatkan dari hasil pengolahan pada skema 1, 5, 6 dan 7. Hasil koordinat planimetris (XY) dari ketiga skema menunjukkan bahwa selisih koordinat berada dalam rentang kesalahan centimeter. Namun hasil koordinat tinggi (Z) dari keempat skema terdapat perbedaan. Skema 7 mempunyai selisih koordinat tinggi dalam rentang kesalahan centimeter sedangkan skema 1, 5 dan 6 mempunyai selisih koordinat tinggi dalam rentang kesalahan desimeter. Hal ini dikarenakan posisi ICP nomor 4 pada skema 1, 5 dan 6 mempunyai jarak interpolasi yang relatif jauh dari GCP terdekat.

Selisih Koordinat ICP Nomor 5

Tabel 8. Selisih Koordinat ICP Nomor 5

Skema	Δ Easting (M)	Δ Northing (M)	Δ Elevation (M)
Skema 1	-0,039	0,031	0,15
Skema 2	-0,033	0,021	0,064
Skema 3	-0,029	0,014	-0,018
Skema 4	-0,001	0,022	0,245
Skema 5	-0,029	0,016	0,164
Skema 6	-0,012	-0,005	0,172

Koordinat ICP nomor 5 didapatkan dari hasil pengolahan pada skema 1, 2, 3, 4, 5 dan 6. Hasil koordinat planimetris (XY) dari ketiga skema menunjukkan bahwa selisih koordinat berada dalam rentang kesalahan centimeter. Namun hasil koordinat tinggi (Z) dari keempat skema terdapat perbedaan. Skema 2 dan 3 mempunyai selisih koordinat tinggi dalam rentang kesalahan centimeter sedangkan skema 1, 4, 5 dan 6 mempunyai selisih koordinat tinggi dalam rentang kesalahan desimeter. Hal ini dikarenakan posisi *ICP* nomor 5 pada skema 1, 5 dan 6 mempunyai jarak interpolasi yang relatif jauh dari GCP terdekat.

Selisih Koordinat *ICP* Nomor 6

Tabel 9. Selisih Koordinat *ICP* Nomor 6

Skema	Δ Easting (M)	Δ Northing (M)	Δ Elevation (M)
Skema 4	0,013	0,009	0,421
Skema 6	0,038	0,003	0,058
Skema 7	0,022	0,019	-0,078

Koordinat ICP nomor 6 didapatkan dari hasil pengolahan pada skema 4, 6 dan 7. Hasil koordinat planimetris (XY) dari ketiga skema menunjukkan bahwa selisih koordinat berada dalam rentang kesalahan centimeter. Namun hasil koordinat tinggi (Z) dari keempat skema terdapat perbedaan. Skema 6 dan 7 mempunyai selisih koordinat tinggi dalam rentang kesalahan centimeter sedangkan skema 4 mempunyai selisih koordinat tinggi dalam rentang kesalahan desimeter. Hal ini dikarenakan posisi *ICP* nomor 6 pada skema 4 mempunyai jarak interpolasi yang relatif jauh dari GCP terdekat.

Selisih Koordinat *ICP* Nomor 7

Tabel 10. Selisih Koordinat *ICP* Nomor 7

Skema	Δ Easting (M)	Δ Northing (M)	Δ Elevation (M)
Skema 1	-0,007	-0,001	0,002
Skema 2	0,012	-0,004	-0,014
Skema 3	-0,017	0,03	0,128
Skema 4	-0,002	0,024	0,216
Skema 5	-0,002	0,008	-0,032

Koordinat ICP nomor 7 didapatkan dari hasil pengolahan pada skema 1, 2, 3, 4 dan 5. Hasil koordinat planimetris (XY) dari ketiga skema menunjukkan bahwa selisih koordinat berada dalam rentang kesalahan centimeter. Namun hasil koordinat tinggi (Z) dari keempat skema terdapat perbedaan. Skema 1, 2 dan 5 mempunyai selisih koordinat tinggi dalam rentang kesalahan centimeter sedangkan skema 3 dan 4 mempunyai selisih koordinat tinggi

dalam rentang kesalahan desimeter. Hal ini dikarenakan posisi *ICP* nomor 7 pada skema 3 dan 4 mempunyai jarak interpolasi yang relatif jauh dari *GCP* terdekat.

Selisih Koordinat *ICP* Nomor 8

Tabel 11. Selisih Koordinat *ICP* Nomor 8

Skema	Δ Easting (M)	Δ Northing (M)	Δ Elevation (M)
Skema 3	-0,016	0,015	0,259
Skema 6	0,007	-0,001	-0,001
Skema 7	-0,007	0,007	0,011

Koordinat *ICP* nomor 8 didapatkan dari hasil pengolahan pada skema 3, 6 dan 7. Hasil koordinat planimetris (XY) dari ketiga skema menunjukkan bahwa selisih koordinat berada dalam rentang kesalahan centimeter. Namun hasil koordinat tinggi (Z) dari keempat skema terdapat perbedaan. Skema 6 dan 7 mempunyai selisih koordinat tinggi dalam rentang kesalahan centimeter sedangkan skema 3 mempunyai selisih koordinat tinggi dalam rentang kesalahan desimeter. Hal ini dikarenakan posisi *ICP* nomor 8 pada skema 3 mempunyai jarak interpolasi yang relatif jauh dari *GCP* terdekat.

Selisih Koordinat *ICP* Nomor 9

Tabel 12. Selisih Koordinat *ICP* Nomor 9

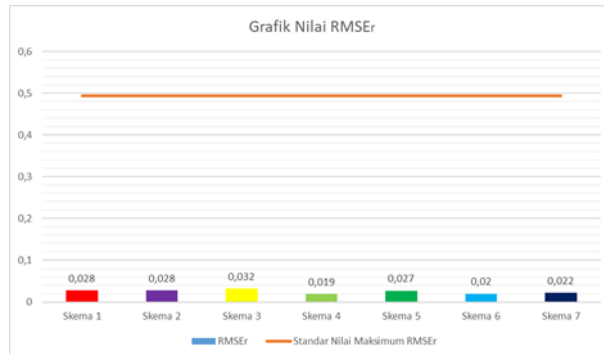
Skema	Δ Easting (M)	Δ Northing (M)	Δ Elevation (M)
Skema 1	-0,003	-0,003	0,153
Skema 2	-0,001	-0,023	0,074
Skema 3	0,004	-0,014	0,132
Skema 4	0,012	-0,001	-0,145
Skema 5	-0,017	-0,036	0,135
Skema 6	0,008	-0,007	0,157

Koordinat *ICP* nomor 9 didapatkan dari hasil pengolahan pada skema 1, 2, 3, 4, 5 dan 6. Hasil koordinat planimetris (XY) dari keenam skema menunjukkan bahwa selisih koordinat berada dalam rentang kesalahan centimeter. Namun hasil koordinat tinggi (Z) dari keempat skema terdapat perbedaan. Skema 2 mempunyai selisih koordinat tinggi dalam rentang kesalahan centimeter sedangkan skema 1, 3, 4, 5 dan 6 mempunyai selisih koordinat tinggi dalam rentang kesalahan desimeter. Hal ini dikarenakan posisi *ICP* nomor 9 pada skema 1, 3, 4, 5 dan 6 mempunyai jarak interpolasi yang relatif jauh dari *GCP* terdekat

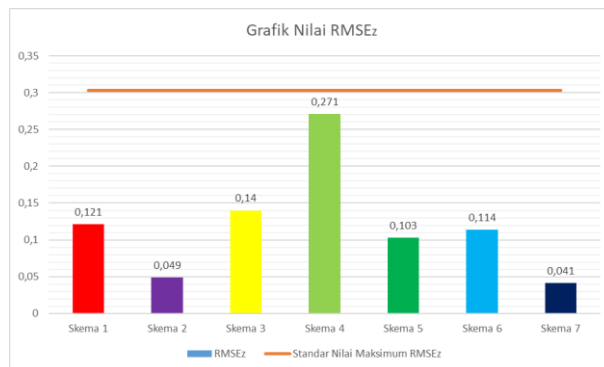
Hasil $RMSE_r$ dan $RMSE_z$ Setiap Skema

Tabel 13. Rangkuman $RMSE_r$ dan $RMSE_z$ setiap skema

Skema	$RMSE_r$ (m)	$RMSE_z$ (m)
Skema 1	0,028	0,121
Skema 2	0,028	0,049
Skema 3	0,032	0,14
Skema 4	0,019	0,271
Skema 5	0,027	0,103
Skema 6	0,02	0,114
Skema 7	0,022	0,041



Gambar 7. Grafik perbandingan nilai $RMSE_r$



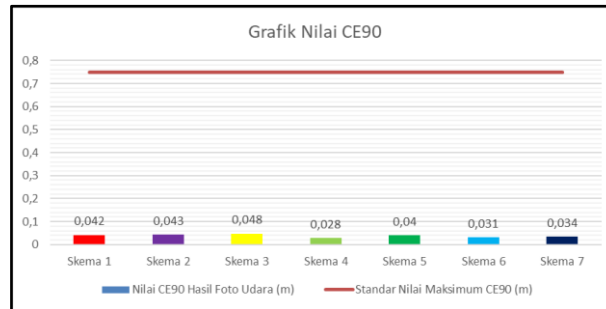
Gambar 8. Grafik perbandingan $RMSE_z$

Nilai maksimum $RMSE_r$ dan $RMSE_z$ yang digunakan pada penelitian ini menggunakan nilai 0,494 m dan 0,303 m. Setelah dilakukan perhitungan maka dapat dilihat pada **Gambar 7** dan **Gambar 8** nilai $RMSE_r$ dan $RMSE_z$ setiap skema berada di bawah nilai standar yang telah ditetapkan. Nilai $RMSE_r$ tertinggi adalah pada skema 3 dan Nilai $RMSE_r$ terendah adalah pada skema 4. Sedangkan Nilai $RMSE_z$ tertinggi adalah pada skema 4 dan Nilai $RMSE_z$ terendah adalah pada skema 7.

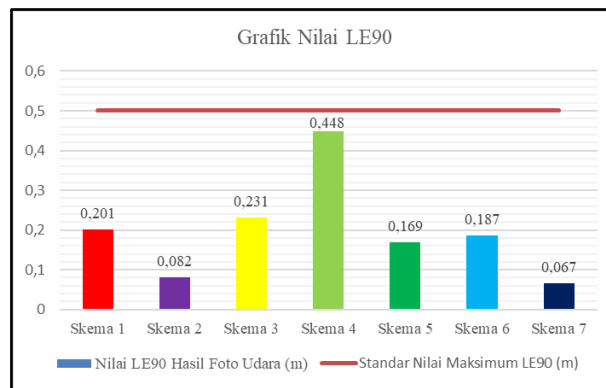
Hasil CE90 dan LE90 Setiap Skema

Tabel 14. Rangkuman CE90 dan LE90 setiap skema

Skema	CE90	LE90
Skema 1	0,042	0,201
Skema 2	0,043	0,082
Skema 3	0,048	0,231
Skema 4	0,028	0,448
Skema 5	0,040	0,169
Skema 6	0,031	0,187
Skema 7	0,034	0,067



Gambar 9. Grafik perbandingan nilai CE90



Gambar 10. Grafik perbandingan nilai LE90

Nilai maksimum CE90 dan LE90 yang digunakan pada penelitian ini menggunakan nilai 0,75 m dan 0,5 m. Setelah dilakukan perhitungan maka dapat dilihat pada **Gambar 9** dan **Gambar 10** CE90 dan LE90 setiap skema berada di bawah nilai standar yang telah ditetapkan. Nilai CE90 tertinggi adalah pada skema 3 dan Nilai CE90 terendah adalah pada skema 4. Sedangkan Nilai LE90 tertinggi adalah pada skema 4 dan Nilai LE90 terendah adalah pada skema 7.

Analisis Skema yang Efektif dan Efisien

Gambar 9 menyajikan grafik informasi perbandingan nilai CE90 antar skema terhadap nilai maksimum CE90 yang telah ditetapkan sebelumnya. Berdasarkan gambar tersebut dapat disimpulkan jika nilai CE90 dari setiap skema tidak ada yang melewati batas maksimum yang ditentukan yaitu 0,75 m. Nilai CE90 yang tertinggi adalah 0,048 m yang

berasal dari skema 3. Sedangkan nilai CE90 terendah adalah 0,028 m yang berasal dari skema 4. Perbandingan antar nilai CE90 dari setiap skema tidak menunjukkan adanya anomali.

Gambar 10. menyajikan grafik informasi perbandingan nilai LE90 antar skema terhadap nilai maksimum LE90 yang telah ditentukan sebelumnya. Berdasarkan gambar tersebut dapat disimpulkan jika nilai LE90 dari setiap skema tidak ada yang melewati batas maksimum yang telah ditentukan. Nilai LE90 yang tertinggi adalah 0,448 m yang berasal dari skema 4. Sedangkan nilai CE90 terendah adalah 0,067 m yang berasal dari skema 7.

Nilai LE90 setiap skema menunjukkan nilai yang cukup bervariasi. Hal ini dikarenakan nilai koordinat z hasil pengolahan foto udara sangat dipengaruhi oleh distribusi GCP dalam menghasilkan model morfologi permukaan bumi hasil pengolahan foto udara atau yang disebut dengan *DEM*. Semakin jauh titik *ICP* dari titik *GCP* terdekat maka akan mengurangi keakuratan dan kepresisian dari koordinat yang dihasilkan. Sebagai contoh, pada skema 4 *GCP* yang digunakan adalah nomor 3, 4 dan 8 dengan *ICP* menggunakan nomor 1, 2, 5, 6, 7 dan 9. Berdasarkan **Tabel 10** terdapat dua nilai koordinat z yang mempunyai selisih yang besar adalah *ICP* nomor 1 dan 6. *ICP* nomor 1 dan 6 adalah *ICP* yang posisinya jauh dari titik *GCP* terdekat.

Oleh sebab itu, Son (2020) telah menjelaskan jika pekerjaan pemasangan *Ground Control Points (GCP)* merupakan pekerjaan yang bergantung pada jumlah tenaga kerja, memakan waktu dan sangat bergantung pada akses menuju lokasi pekerjaan. Astuti (2019) menyatakan bahwa bekerja dengan efisien adalah bekerja dengan gerakan, usaha, waktu dan kelelahan yang sedikit mungkin. Sedangkan Berliana (2022) menyatakan jika efektif berasal dari Bahasa Inggris yang mempunyai arti berhasil dalam mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Sehingga jumlah dan distribusi *GCP* dinyatakan efektif adalah yang memenuhi standar nilai maksimum yang telah ditetapkan. Sedangkan jumlah dan distribusi *GCP* dinyatakan efisien adalah jika menggunakan jumlah *GCP* yang paling sedikit.

Gambar 9 dan **Gambar 10** menjelaskan jika penggunaan tiga *GCP* tetap dapat menghasilkan nilai CE90 dan LE90 sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Selain itu, tiga *GCP* yang didistribusikan dalam bentuk pola segitiga dan pola diagonal dari *area of interest* tetap menghasilkan nilai CE90 dan LE90 yang sesuai dengan standar. Oleh sebab itu dapat diidentifikasi jika Skema 4 memenuhi syarat untuk dinyatakan sebagai skema dengan jumlah dan distribusi *GCP* yang efektif dan efisien dikarenakan mempunyai nilai maksimum dari perhitungan CE90 dan LE90.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan jumlah *Ground Control Points (GCP)* minimum yang diperlukan untuk menghasilkan data pemetaan foto udara yang efektif dan efisien secara waktu dan biaya berjumlah adalah jumlah *GCP* pada skema 4 yaitu sebanyak tiga buah *GCP*. Selain itu hasil penelitian terkait distribusi *Ground Control Points (GCP)* untuk menghasilkan data pemetaan foto udara yang efektif dan efisien secara waktu dan biaya adalah distribusi *GCP* pada skema 4 dengan membentuk pola diagonal dengan posisi *GCP* terletak pada sisi pojok Timur-Selatan dari *area of interest*, pada area tengah dari *area of interest* dan sisi pojok Utara-Barat dari *area of interest*.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga, dosen, teman – teman Teknik Geodesi Institut Teknologi Padang Angkatan 2023 dan instansi – instansi terkait akuisisi dan pengolahan data yang telah mendukung serta membantu dalam kelancaran penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., & Martínez-Carricondo, P. (2017). Accuracy of digital surface models and orthophotos derived from unmanned aerial vehicle photogrammetry. *Journal of Surveying*, 143(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000206](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000206)
- Astuti, E. P. (2019). Efisiensi dan efektivitas dalam upaya pelayanan administrasi akademik mahasiswa di Fakultas Dakwah dan Ilmu Komunikasi Universitas Raden Intan Lampung [Tugas akhir, UIN Raden Intan Lampung]. Bandar Lampung.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). Ketelitian peta dasar. SNI 8202:2019. Jakarta.
- Berliana, I. (2022). Analisis efektivitas dan efisiensi penggunaan sistem aplikasi E-Desk pada Ditjen P2P Kementerian Kesehatan RI tahun 2018-2021 [Thesis, Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi Indonesia Jakarta]. Jakarta.
- Frazier, A. E., & Singh, K. K. (2021). *Fundamentals of capturing and processing drone imagery and data*. CRC Press.
- Karsidi, A. (2021). *Kebijakan satu peta (One Map Policy)*. Sains Press.
- Peraturan Badan Informasi Geospasial. (2020). Standar pengumpulan data geospasial dasar untuk pembuatan peta dasar skala besar. Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor: 1 Tahun 2020. Badan Informasi Geospasial.
- Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial. (2014). Pedoman teknis ketelitian peta dasar. Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor: 15 Tahun 2014. Badan Informasi Geospasial.

- Son, S. W., Yu, J. J., Kim, D. W., & Lee, E. J. (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). <https://doi.org/10.3390/drones4030049>
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). Structure-from-motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>