

Analisis Pengaruh Tinggi Terbang *Drone* Terhadap Ketelitian Geometri Peta Foto

Ketut Gunawan¹, Rangga Wikandaru¹ Anton Sudyanto¹, Edy Nursanto¹, Tedy Agung Cahyadi¹,
Yudha Krisna Suhendra², Rizky Ikhsan Luthfian Noor²

¹ Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

² Reclamation Engineer PT. Adaro Indonesia

Korespondensi : ranggawikandaru23@gmail.com

ABSTRAK

Nilai ketelitian geometri foto udara merupakan salah satu hal penting yang harus dirancang saat akan melakukan akuisisi peta foto, dan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi nilai ketelitian geometri adalah tinggi terbang dari *drone* saat melakukan akuisisi foto udara. Tujuan dari penyusunan makalah ini adalah untuk membandingkan nilai ketelitian geometri foto udara dengan variasi tinggi terbang yang berbeda untuk selanjutnya menjadi acuan dalam melakukan akuisisi data foto udara. Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data foto udara dan data koordinat *premark* yang didapat saat melakukan penelitian. Dari hasil penelitian didapat nilai ketelitian geometri horizontal pada foto udara semakin berkurang saat tinggi terbang meningkat dan nilai ketelitian geometri vertikal semakin baik saat tinggi terbang meningkat. Dari hasil tersebut ditentukan tinggi terbang yang optimal didalam melakukan akuisisi data foto udara

Kata kunci: Ketelitian Geometri, variasi tinggi terbang, foto udara.

ABSTRACT

The value of geometry accuracy of aerial photographs is one of the important things that must be designed when going to acquire a photo map, and one of the factors that greatly influences the value of geometry accuracy is the flying altitude of the drones when acquiring aerial photographs. This paper aims to compare the geometrical accuracy of aerial photographs with different variations in altitude and henceforth become a reference in conducting aerial photographic data acquisition. The data used in this study are aerial photographic data and premark coordinate data obtained when conducting research. From the research results obtained horizontal geometry accuracy value in aerial photographs decreases when the flight height increases and the value of vertical geometry accuracy gets better when the flight height increases. From these results, it is determined that the optimal flying height in conducting aerial photo data acquisition.

Keywords: Geometry Accuracy, flying altitude variations, aerial photo

1. PENDAHULUAN

PT Adaro Indonesia merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan batubara. Batubara merupakan bahan tambang yang masih digunakan pada pembangkit listrik, sehingga dilakukan penambangan Batubara menggunakan sistem tambang terbuka dengan metode *strip mine*. Sistem tambang terbuka sangat mempengaruhi kondisi permukaan tanah sehingga dapat dipastikan adanya kegiatan reklamasi pada industri pertambangan Batubara.

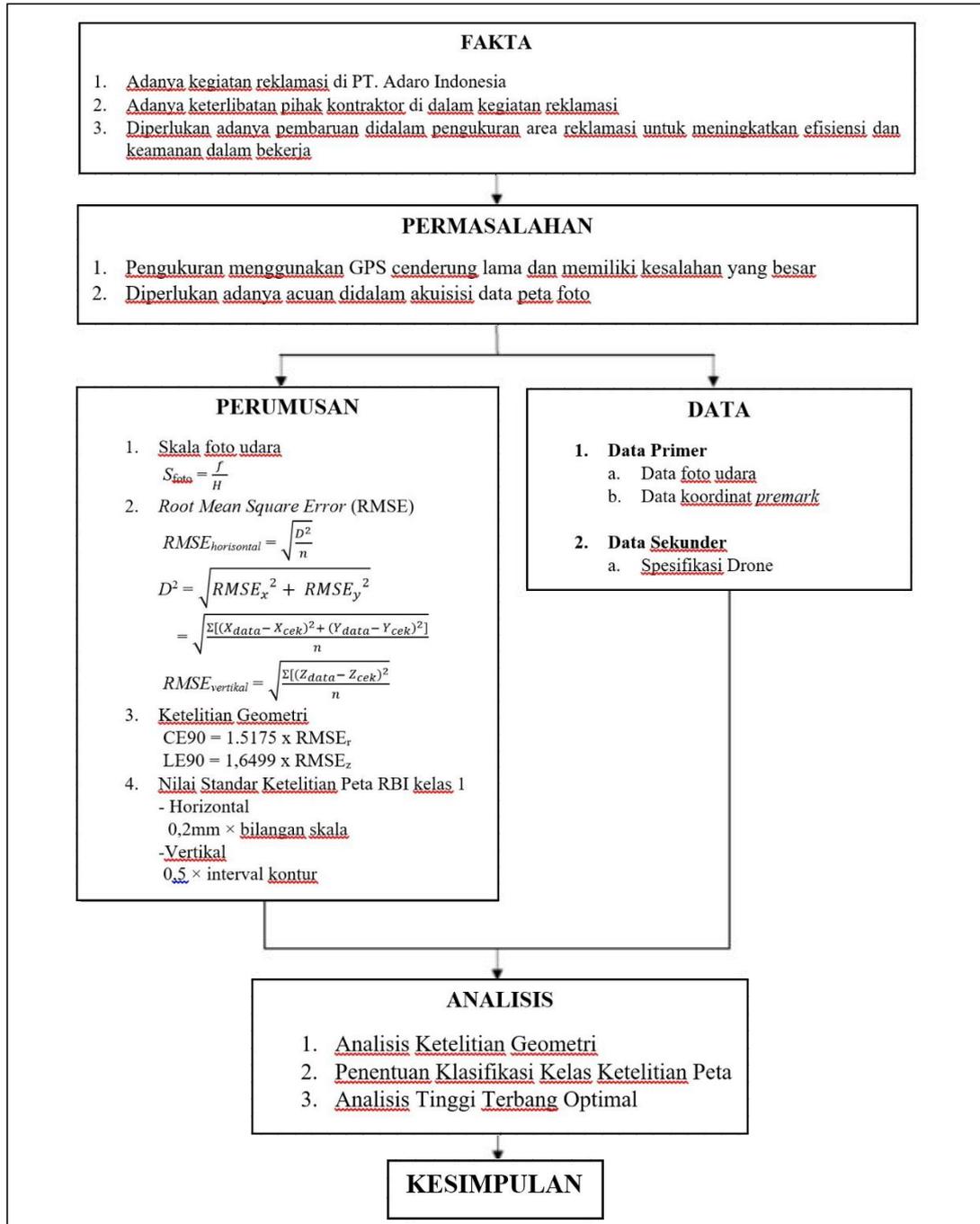
Kegiatan reklamasi pada perusahaan melibatkan pihak kontraktor yang akan melaksanakan kegiatan penataan lahan, analisis tajuk rencana, penanaman hingga pemeliharaan. Agar didapatkan rencana kerja yang baik, pihak kontraktor memerlukan adanya data luas lahan yang akan direklamasi. PT. Adaro Indonesia hingga saat ini masih menggunakan metode *tracking* menggunakan GPS (*Global Positioning System*) yang cenderung lama dan tidak aman apabila harus melewati lereng-lereng tambang. Atas dasar tersebut maka diperlukan adanya pembaruan demi meningkatkan efisiensi dan keamanan dalam bekerja

Metode fotogrametri metrik merupakan salah satu alternatif pembaruan dimana memungkinkan untuk memperoleh ukuran jarak, sudut, luas, volume, elevasi, ukuran dan bentuk objek [1]. Kegiatan ini dimaksudkan untuk meneliti pengaruh tinggi terbang *drone* terhadap nilai ketelitian geometri foto udara. Ketelitian geometri foto udara adalah nilai yang menggambarkan ketidakpastian koordinat posisi suatu objek pada peta dibandingkan dengan koordinat posisi objek yang dianggap posisi sebenarnya [2].

Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk membandingkan nilai ketelitian geometri yang didapat dengan menggunakan variasi tinggi terbang tertentu.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dijelaskan menggunakan bagan alir yang tercantum pada Gambar 1 yang berisi tentang fakta yang ditemukan dilapangan, permasalahan yang dihadapi dilapangan, perumusan masalah, data, analisis penelitian serta kesimpulan.



Gambar 1. Bagan Alir Metode Penelitian

Dalam penulisan makalah ini data yang digunakan adalah data foto yang didapat dari 3 kali uji coba dengan 4 variasi tinggi terbang yang berbeda yaitu 100 meter, 150 meter, 200 meter, dan 250 meter. Kemudian dilakukan pengambilan data GCP (*Ground Control Point*) sebagai titik referensi dan ICP (*Independent check Point*) sebagai titik uji dengan menggunakan RTK [3]. Setelah didapatkan koordinat

GCP maka dilakukan tahapan *georeferencing* yang merupakan proses penempatan suatu objek yang belum mempunyai acuan sistem koordinat ke dalam suatu koordinat dan proyeksi tertentu [4].

Pada penelitian ini menggunakan beberapa rumus yang mendukung metode penelitian diatas, rumus yang digunakan adalah skala foto udara, *Root Mean Square Error* (RMSE), rumus ketelitian geometri horizontal dan vertikal, dan rumus perhitungan nilai klasifikasi kelas ketelitian peta Rupa Bumi Indonesia (RBI).

2.1. Tahapan Pengolahan Peta Foto

Sebelum dilakukan uji ketelitian geometri diperlukan adanya koordinat *premark* berupa GCP dan ICP yang didapat dari RTK (*Real Time Kinematic*). Data GCP menjadi masukan di dalam pengolahan foto udara agar menjadi *orthophoto*. *Orthophoto* sendiri merupakan proses untuk mengeliminir perspektif foto dan koreksi pergeseran relief yang disebabkan oleh kondisi *terrain*, untuk menghasilkan gambar atau foto pada proyeksi orthogonal atau membuat kondisi foto menjadi tegak [5]. *Orthophoto* merupakan foto dengan proyeksi orthogonal yang distorsi radialnya akibat lensa kamera telah dieliminir. Penelitian ini menggunakan *software* di dalam pengolahan data foto udara agar menjadi *orthophoto*.

Tahapan dari pengolahan foto udara meliputi penyusunan foto dan rekonstruksi jalur terbang, *georeferencing*, pembentukan titik tinggi atau *dense point clouds*, pembentukan DEM (*Digital Elevation Model*) sebagai masukan bagi proses pembuatan *orthophoto* [6].

2.2. Skala Foto Udara

Skala foto adalah perbandingan antara jarak objek pada foto dengan objek sebenarnya yang sama. Perbandingan panjang fokus kamera dengan tinggi terbang disebut juga sebagai skala foto [7]. Persamaan skala foto udara sebagai berikut:

$$\text{Skala} = \frac{f}{H} \quad (1)$$

Keterangan :

f = Panjang fokus kamera (cm)
 H = Tinggi Terbang (cm)

2.3. Root Mean Square Error (RMSE)

Root Mean Square Error adalah akar kuadrat dari rata-rata kuadrat selisih antara nilai koordinat data dan nilai koordinat dari sumber *independent* yang akurasi lebih tinggi [8]. Pada penelitian ini akan didapatkan 2 nilai RMSE yaitu nilai RMSE horizontal dan RMSE vertikal. Nilai RMSE didapatkan dari selisih koordinat ICP dari sumber *independent* yaitu RTK dengan koordinat ICP yang didapatkan setelah dilakukan pembentukan peta foto.

Persamaan RMSE adalah sebagai berikut :

$$RMSE_{horizontal} = \sqrt{\frac{D^2}{n}} \quad (2)$$

$$D^2 = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} = \sqrt{\frac{\sum[(X_{data} - X_{cek})^2 + (Y_{data} - Y_{cek})^2]}{n}} \quad (3)$$

$$RMSE_{vertikal} = \sqrt{\frac{\sum[(Z_{data} - Z_{cek})^2]}{n}} \quad (4)$$

Keterangan :

n = Jumlah total pengecekan pada peta
 D = Selidih antara koordinat yang diukur dari sumber *independent* dengan koordinat di peta
 x = Nilai koordinat pada sumbu x
 y = Nilai koordinat pada sumbu y
 z = Nilai koordinat pada sumbu z

Apabila pada pengukuran koordinat memiliki satuan meter, maka satuan pada perhitungan RMSE juga dalam meter.

2.4. Uji Ketelitian Geometri

Pengujian ketelitian geometri berpedoman pada PERKA BIG Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar [9]. Pengujiannya dilakukan dengan cara melakukan perhitungan

CE90 dan LE90. *Circular Error 90%* (CE90) adalah ukuran ketelitian geometrik horizontal yang didefinisikan sebagai radius lingkaran yang menunjukkan bahwa 90% kesalahan atau perbedaan posisi horizontal obyek di peta dengan posisi yang dianggap sebenarnya tidak lebih besar dari radius tersebut. *Linear Error 90%* (LE90) adalah ketelitian geometrik vertikal (ketinggian) yaitu nilai jarak yang menunjukkan bahwa 90% kesalahan atau perbedaan nilai ketinggian objek di peta dengan nilai ketinggian sebenarnya tidak lebih besar daripada nilai jarak tersebut. Nilai CE90 dan LE90 diperoleh dari *United States National Mapping Accuracy Standard* [10].

$$CE90 = 1.5175 \times RMSE_r \quad (5)$$

$$LE90 = 1,6499 \times RMSE_z \quad (6)$$

Keterangan :

RMSE_r : *Root Mean Square Error* pada posisi x dan y (Horizontal)

RMSE_z : *Root Mean Square Error* pada posisi z (Vertikal)

CE90 : Nilai ketelitian posisi horizontal dengan tingkat kepercayaan 90%

LE90 : Nilai ketelitian posisi vertikal dengan tingkat kepercayaan 90%

2.5. Klasifikasi Ketelitian Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI)

Melakukan klasifikasi ketelitian peta foto diperlukan agar dapat mengetahui apakah peta foto yang dihasilkan pada penelitian memenuhi standar ketelitian nasional. Nilai standar klasifikasi ketelitian menurut Perka BIG dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan Nilai Klasifikasi Ketelitian Peta RBI

| Ketelitian | Kelas 1 | Kelas 2 | Kelas 3 |
|------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Horizontal | 0,2mm × bilangan skala | 0,3mm × bilangan skala | 0,5mm × bilangan skala |
| Vertikal | 0,5 × interval kontur | 1,5 × ketelitian kelas 1 | 2,5 × ketelitian kelas 1 |

3. HASIL DAN DISKUSI

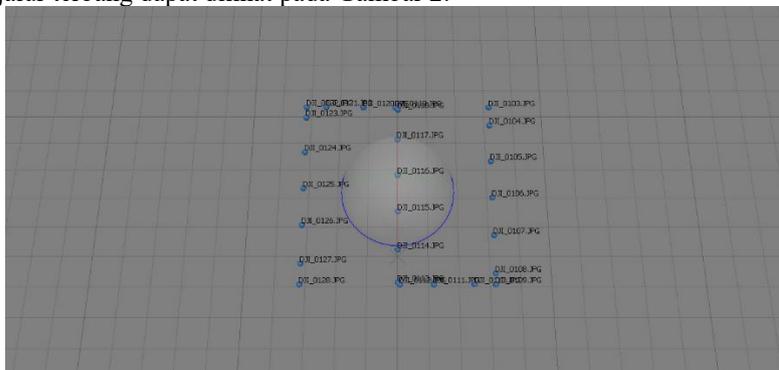
Sebelum dilakukan pengolahan foto udara dan pembentukan peta foto, terlebih dahulu didapatkan nilai koordinat *premark* GCP dan ICP pada 3 lokasi percobaan yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Koordinat *Premark*

| Blok | GCP | Koordinat | | |
|-------------|-------|------------|-------------|---------|
| | | X (m) | Y (m) | Z (m) |
| Percobaan 1 | GCP 1 | 329792.837 | 9754365.823 | 141.809 |
| | GCP 2 | 329871.238 | 9754214.597 | 149.864 |
| | GCP 3 | 329892.662 | 9754347.061 | 150.231 |
| | ICP 1 | 329792.837 | 9754330.067 | 141.809 |
| | ICP 2 | 329792.628 | 9754285.485 | 142.42 |
| | ICP 3 | 329896.923 | 9754289.565 | 150.416 |
| Percobaan 2 | GCP 1 | 329594.401 | 9754255.59 | 138.753 |
| | GCP 2 | 329636.827 | 9754215.825 | 138.696 |
| | GCP 3 | 329630.361 | 9754289.547 | 138.805 |
| | ICP 1 | 329610.877 | 9754253.507 | 138.946 |
| | ICP 2 | 329704.134 | 9754219.074 | 140.977 |
| | ICP 3 | 329671.983 | 9754289.895 | 139.172 |
| Percobaan 3 | GCP 1 | 329237.298 | 9754016.507 | 114.583 |
| | GCP 2 | 329261.119 | 9754261.554 | 113.788 |
| | GCP 3 | 329341.962 | 9754056.34 | 115.484 |
| | ICP 1 | 329251.254 | 9754026.356 | 114.419 |
| | ICP 2 | 329280.592 | 9754021.085 | 114.235 |
| | ICP 3 | 329298.658 | 9753976.843 | 115.371 |

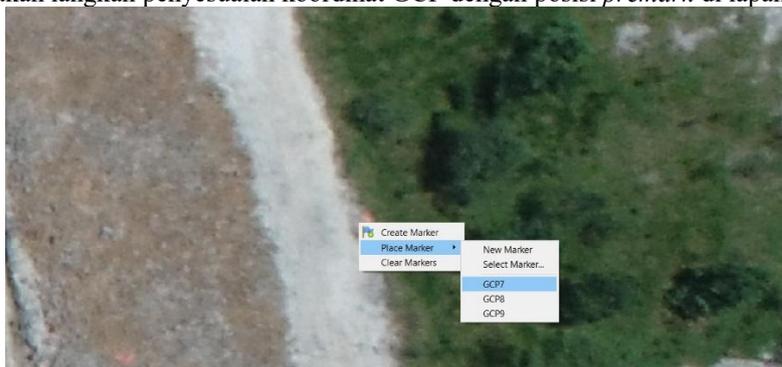
3.1. Pengolahan Peta Foto

Dari hasil percobaan didapatkan 12 peta foto. Pengolahan data foto udara menjadi peta foto atau *orthophoto* menggunakan *software Agisoft Photoscan*. Pada tahap rekonstruksi jalur terbang tidak terdapat perbedaan antara rancangan jalur terbang dengan hasil foto yang telah didapatkan. Proses penyusunan foto dan rekonstruksi jalur terbang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Penyusunan Foto dan Rekonstruksi Jalur Terbang

Setelah dilakukan penyusunan data foto udara dan rekonstruksi jalur terbang, dilakukan tahapan *georeferencing* agar data foto udara memiliki referensi sesuai dengan koordinat yang digunakan. Tahap *georeferencing* dilakukan dengan melakukan input GCP pada setiap foto udara yang memiliki *premark*. Gambar 3 merupakan langkah penyesuaian koordinat GCP dengan posisi *premark* di lapangan.



Gambar 3. Proses Input GCP untuk *Georeferencing*

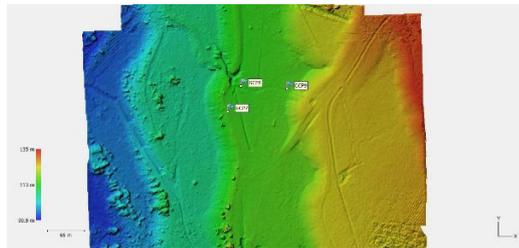
Tahap pembuatan *dense point clouds* dapat dilakukan apabila telah dilakukan penyusunan jalur terbang dan memiliki hasil keluaran berupa *tie points*. *Dense point clouds* sendiri merupakan titik tinggi 3 dimensi yang merupakan hasil komputasi lebih lanjut dari *tie points* pada *Agisoft*. Gambar 4 merupakan hasil dari pembentukan *dense point clouds*.



Gambar 4. Hasil Pembentukan *Dense Point Clouds*

DEM (*Digital Elevation Model*) dapat dibentuk apabila telah terdapat titik tinggi. DEM sendiri merupakan representasi statistical sederhana dari permukaan tanah secara berkelanjutan dengan titik-titik

dalam jumlah besar yang diketahui posisi x,y,z dalam sistem koordinat apapun. Gambar 5. Merupakan hasil pembentukan DEM.



Gambar 5. Hasil Pembentukan DEM

Keluaran terakhir dari pengolahan menggunakan *Agisoft* merupakan *orthophoto*. Pada gambar 6 dapat dilihat contoh dari *orthophoto*.



Gambar 6. Hasil *Orthophoto*

3.2. Hasil Pengolahan Skala Foto Udara

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan 1 pada masing-masing tinggi terbang didapat skala dari foto udara. Hasil perhitungan skala dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Skala Foto Udara

| Perhitungan Skala Peta | | |
|------------------------|--------------------------|-----------|
| Ketinggian (cm) | Panjang Fokus Lensa (cm) | Skala |
| 10000.000 | 2.400 | 4166.667 |
| 15000.000 | 2.400 | 6250.000 |
| 20000.000 | 2.400 | 8333.333 |
| 25000.000 | 2.400 | 10416.667 |

3.3. Hasil Perhitungan RMSE

Persamaan 2, persamaan 3, dan persamaan 4 digunakan untuk mendapatkan nilai RMSE dari seluruh data percobaan dengan menghitung selisih ICP hasil *orthophoto* dengan ICP hasil RTK. Nilai dari RMSE merupakan rata-rata dari selisih nilai perbedaan ICP dari sumber *independent* dengan ICP pada hasil pengolahan. Pada Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6 merupakan koordinat ICP yang didapatkan setelah melakukan pembentukan *orthophoto*.

Tabel 4. Koordinat ICP pada Percobaan 1

| Ketinggian (m) | ICP | Koordinat | | |
|----------------|-------|------------|-------------|---------|
| | | X (m) | Y (m) | Z (m) |
| 100 | ICP 1 | 329792,948 | 9754330,106 | 141,989 |
| | ICP 2 | 329792,603 | 9754285,222 | 142,546 |
| | ICP 3 | 329896,913 | 9754289,521 | 150,650 |
| 150 | ICP 1 | 329793,001 | 9754330,229 | 141,712 |
| | ICP 2 | 329792,654 | 9754285,406 | 142,218 |
| | ICP 3 | 329896,892 | 9754289,654 | 150,381 |
| 200 | ICP 1 | 329792,963 | 9754330,295 | 141,548 |
| | ICP 2 | 329792,591 | 9754285,450 | 141,994 |
| | ICP 3 | 329896,915 | 9754289,455 | 150,330 |
| 250 | ICP 1 | 329793,071 | 9754330,340 | 141,725 |
| | ICP 2 | 329792,564 | 9754285,713 | 142,189 |
| | ICP 3 | 329896,912 | 9754289,436 | 150,409 |

Tabel 5. Koordinat ICP pada Percobaan 2

| Ketinggian (m) | ICP | Koordinat | | |
|-------------------|-------|------------|-------------|---------|
| | | X (m) | Y (m) | Z (m) |
| 100 | ICP 1 | 329610.994 | 9754253.578 | 138.964 |
| | ICP 2 | 329704.146 | 9754218.976 | 140.440 |
| | ICP 3 | 329672.131 | 9754289.729 | 139.127 |
| 150 | ICP 1 | 329610.907 | 9754253.606 | 138.967 |
| | ICP 2 | 329703.996 | 9754219.022 | 140.564 |
| | ICP 3 | 329672.049 | 9754289.737 | 139.119 |
| 200 | ICP 1 | 329610.949 | 9754253.589 | 138.922 |
| | ICP 2 | 329704.212 | 9754219.053 | 140.703 |
| | ICP 3 | 329672.040 | 9754289.742 | 139.209 |
| 250 | ICP 1 | 329610.946 | 9754253.564 | 138.967 |
| | ICP 2 | 329704.710 | 9754218.879 | 140.795 |
| | ICP 3 | 329672.332 | 9754289.713 | 139.243 |

Tabel 6. Koordinat ICP pada Percobaan 3

| Ketinggian (m) | ICP | Koordinat | | |
|-------------------|-------|------------|-------------|---------|
| | | X (m) | Y (m) | Z (m) |
| 100 | ICP 1 | 329251.360 | 9754026.398 | 114.384 |
| | ICP 2 | 329280.702 | 9754021.061 | 114.861 |
| | ICP 3 | 329298.942 | 9753976.863 | 115.953 |
| 150 | ICP 1 | 329251.338 | 9754026.408 | 114.286 |
| | ICP 2 | 329280.630 | 9754020.992 | 114.766 |
| | ICP 3 | 329298.753 | 9753976.915 | 115.674 |
| 200 | ICP 1 | 329251.309 | 9754026.353 | 114.181 |
| | ICP 2 | 329280.697 | 9754021.060 | 114.629 |
| | ICP 3 | 329298.740 | 9753977.182 | 115.318 |
| 250 | ICP 1 | 329251.147 | 9754026.458 | 114.066 |
| | ICP 2 | 329280.378 | 9754021.014 | 114.547 |
| | ICP 3 | 329298.614 | 9753977.069 | 115.250 |

Hasil perhitungan RMSE dari data percobaan berada pada nilai diantara 0,107 meter hingga sebesar 0,494 meter. Apabila dihitung secara rata-rata, nilai RMSE terkecil terdapat pada tinggi terbang 150 meter dan nilai RMSE terbesar terdapat pada tinggi terbang 100 meter.

Tabel 7. Hasil Perhitungan RMSE

| Percobaan | Tinggi Terbang | | | | | | | |
|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 100 | | 150 | | 200 | | 250 | |
| | RMSE _r | RMSE _z |
| Percobaan 1 | 0,169 | 0,185 | 0,152 | 0,131 | 0,166 | 0,293 | 0,260 | 0,142 |
| Percobaan 2 | 0,161 | 0,311 | 0,143 | 0,241 | 0,123 | 0,160 | 0,421 | 0,113 |
| Percobaan 3 | 0,189 | 0,494 | 0,107 | 0,361 | 0,213 | 0,268 | 0,205 | 0,281 |

3.4. Hasil Uji Ketelitian Geometri

Untuk menghitung CE90 dan LE90 digunakan persamaan 5, persamaan 6 dan nilai RMSE. Hasil perhitungan CE90 dan LE90 dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Perhitungan CE90 dan LE90

| Percobaan | Tinggi Terbang | | | | | | | |
|-------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| | 100 | | 150 | | 200 | | 250 | |
| | Horizontal (CE 90) | Vertikal (LE 90) |
| Percobaan 1 | 0.256 | 0.306 | 0.175 | 0.216 | 0.252 | 0.483 | 0.394 | 0.234 |
| Percobaan 2 | 0.245 | 0.514 | 0.166 | 0.367 | 0.186 | 0.264 | 0.639 | 0.187 |
| Percobaan 3 | 0.286 | 0.815 | 0.124 | 0.596 | 0.324 | 0.441 | 0.311 | 0.463 |
| Rata-rata | 0.262 | 0.545 | 0.155 | 0.393 | 0.254 | 0.396 | 0.448 | 0.295 |

3.5. Klasifikasi Ketelitian Peta Foto

Nilai standar ketelitian peta foto didapatkan dengan menggunakan perhitungan pada Tabel 1. Hasil perhitungan klasifikasi ketelitian dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Klasifikasi Ketelitian Peta Foto

| NO | Skala | Interval Kontur | Ketelitian Peta RBI | | | | | |
|----|-----------|-----------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| | | | Kelas 1 | | Kelas 2 | | Kelas 3 | |
| | | | Horizontal (CE 90) | Vertikal (LE 90) | Horizontal (CE 90) | Vertikal (LE 90) | Horizontal (CE 90) | Vertikal (LE 90) |
| 1 | 1 : 4166 | 1 | 0.833 | 0.5 | 1.25 | 0.75 | 2.083 | 1.25 |
| 2 | 1 : 6250 | 2 | 1.25 | 1 | 1.875 | 1.5 | 3.125 | 2.5 |
| 3 | 1 : 8333 | 2 | 1.667 | 1 | 2.5 | 1.5 | 4.167 | 2.5 |
| 4 | 1 : 10416 | 4 | 2.083 | 2 | 3.125 | 3 | 5.208 | 5 |

Berdasarkan nilai klasifikasi ketelitian peta foto dan nilai uji ketelitian geometri, seluruh peta foto pada percobaan dapat diklasifikasikan. Klasifikasi peta hasil uji coba dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Klasifikasi Kelas Ketelitian Peta Foto

| Lokasi | Tinggi Terbang | | | | | | | |
|-------------|----------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| | 100 | | 150 | | 200 | | 250 | |
| | Horizontal | Vertikal | Horizontal | Vertikal | Horizontal | Vertikal | Horizontal | Vertikal |
| Percobaan 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Percobaan 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Percobaan 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

3.6. Penentuan Tinggi Terbang Optimal

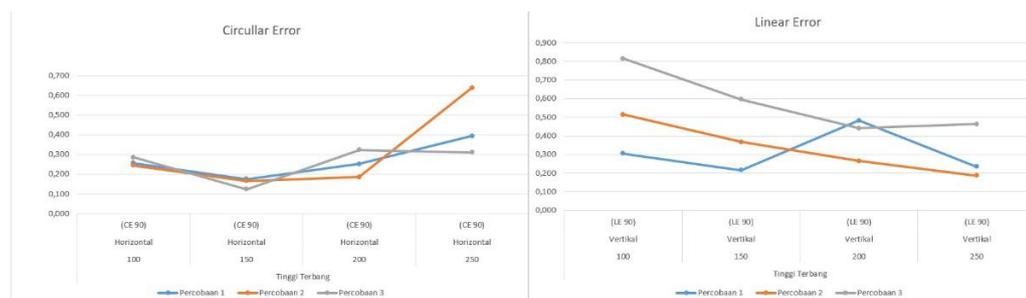
Penentuan tinggi terbang optimal dilakukan berdasarkan selisih nilai ketelitian geometri rata-rata dari seluruh tinggi terbang dengan nilai klasifikasi ketelitian kelas 1 karena merupakan ketelitian yang paling baik. Dari nilai selisih terbesar dapat menjadi acuan bagi tinggi terbang yang optimal. Selisih nilai ketelitian geometri rata-rata dengan nilai klasifikasi kelas 1 dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Perhitungan Ketelitian Terbang Optimal

| Nilai Ketelitian Geometri | Tinggi Terbang | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| | 100 | | 150 | | 200 | | 250 | |
| | Horizontal (CE 90) | Vertikal (LE 90) |
| Nilai Baru Ketelitian Geometri | 0.833 | 0.5 | 1.25 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| Nilai Ketelitian Geometri Rata-Rata | 0.262 | 0.545 | 0.155 | 0.393 | 0.254 | 0.396 | 0.448 | 0.295 |
| Selisih | 0.571 | -0.045 | 1.095 | 0.607 | 1.413 | 0.604 | 1.635 | 1.705 |

3.7. Diskusi

Dari hasil yang telah didapatkan diatas dapat dibuat grafik hubungan antara tinggi terbang dengan nilai ketelitian geometri horizontal dan tinggi terbang dengan nilai ketelitian geometri vertikal. Grafik dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Nilai Uji Ketelitian Geometri

Dari grafik pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa ketinggian terbang sangat mempengaruhi ketelitian geometri horizontal maupun vertikal. Hal ini dapat terjadi dikarenakan variasi dari tinggi terbang juga mempengaruhi faktor lain yang menyebabkan berubahnya nilai ketelitian geometri. Faktor yang dipengaruhi oleh tinggi terbang yaitu sudut paralaks dan pergeseran relief.

Sudut paralaks merupakan salah satu faktor yang berpengaruh pada ketelitian geometri horizontal. Sudut paralaks sendiri adalah perubahan kedudukan sudut dari dua titik diam, relatif satu sama lain, sebagaimana yang diamati oleh seorang pengamat yang bergerak. Sudut paralaks dapat terbentuk akibat adanya pengambilan foto yang saling bertampalan (*overlap*) untuk membentuk sebuah foto stereo. Sehingga dalam 2 foto atau lebih akan terdapat obyek yang sama. Semakin tinggi terbang dari *drone* di dalam pengambilan data foto, maka sudut paralaksnya akan semakin kecil dan mengurangi ketelitian geometri dari foto udara begitu juga sebaliknya.

Pergeseran relief juga merupakan salah satu faktor yang berpengaruh pada ketelitian geometri vertikal. Pergeseran relief akan semakin kecil apabila pengambilan foto semakin tinggi, sehingga ketelitian geometri vertikal akan semakin baik. Apabila saat pengambilan data foto dilakukan dengan tinggi terbang yang rendah maka pergeseran relief akan tampak semakin besar sehingga ketelitian geometri vertikalnya akan semakin berkurang.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perbandingan ketinggian terbang *drone* serta ketelitian geometrinya maka tinggi terbang yang sebaiknya digunakan adalah ketinggian terbang 250 meter dikarenakan pada ketinggian terbang tersebut memiliki ketelitian geometri yang baik berdasarkan Perka BIG.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dapat berjalan dengan baik karena dukungan penuh dari PT. Adaro Indonesia yang telah menyediakan fasilitas, lokasi, dan akomodasi selama dilaksanakannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wolf, P. R., 1983. *Elements of Photogrammetry with Air Photo Interpretation and Remote Sensing*, Second Edition. Madison:McGrac-Hill, Inc
- [2] Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014, Tentang “Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar”.
- [3] Arief, R., 2018, Kajian Akurasi Peta Ortofoto dari Data Wahana Udara Tanpa Awak (WUTA), <http://etd.repository.ugm.ac.id/>, 1 – 21, Download pada 29 Agustus 2019.
- [4] Anonim, 2017, “Tutorial Pelatihan Tingkat Dasar (versi 10.x) Laboratorium Geospasial”, FKIP Universitas Cendrawasih.
- [5] Juniati, E., Harintaka, 2018, Perbandingan Ragam Input Model Ketinggian untuk Pembentukan True-Orthophoto di Area Urban, *Geomatika Volume 24*, hal. 49 – 60.
- [6] Jamal, F.I., 2018, *Analisis Produksi Pada Kemajuan Tambang Menggunakan Metode Fotogrametri UAV (Unmanned Aerial Vehicle) di Kuari Batu Gamping PT. Semen Indonesia Pabrik Tuban Jawa Timur*, Skripsi, Program Studi Sarjana Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
- [7] Suyudi, B., Subroto, T., 2014, *Fotogrametri dan Penginderaan Jauh*, Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional, Yogyakarta.
- [8] Federal Geographic Data Committee, 1998, *Geospatial Positioning Accuracy Standars Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy*, U.S. Geological Survey, Virginia.
- [9] Adi, A.P., Prasetyo, Y., Yuwono, B.D., 2017, Pengujian Akurasi dan Ketelitian Planimetrik pada Pemetaan Bidang Tanah Pemukiman Skala Besar Menggunakan Wahana Unmanned Aerial Vehicle (UAV), *Jurnal Geodesi Undip Vol. 6*, hal. 208 – 217.
- [10] Greenwalt, C.R., Shultz, M.E., 1962, Principles of Error Theory and Cartographic Applications, *ACIC Technical Report No. 96*.