KAJIAN PENGARUH KALIBRASI LENSA KAMERA NON-METRIK TERHADAP KETELITIAN FOTO UDARA

Farah Nadhilah[1], Raden Gumilar S.T., M.T.[2], Aning Haryati S.T., M.T.[3]

[1]Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung
[2]Dosen pembimbing 1 Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung
[3]Dosen pembimbing 2 Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

ABSTRACT

Photogrammetric mapping technology is growing, from initially using a metric camera to a non-metric camera. Non-metric camera sensors are a more practical solution than metric cameras. However, this sensor has a geometrik instability problem, so a calibration technique is needed to minimize and improve camera fokus *and orientation parameters in the camera.*

The calibration technique used is the calibration method using the target chessboard and self calibration. The data used are RAW aerial photos, GCP *and* ICP *coordinates, and calibration data in the form of taking markers on the chessboard calibration. These data are used to compare the quality of the data generated from the processing of aerial photos that have been calibrated with the chessboard or self-calibration method and those that have not been calibrated.*

Horizontal RMSE Test Results on the coordinates generated sequentially from the processing method with chessboard calibration; self-calibration; and non-calibration are 0.159;0.178;0.183 with CE90 values 0.242; 0.271;0.278. based on the CE90 value generated from the three methods above, the resulting orthophoto has a horizontal accuracy of 1:1000 in class 1. The vertikal RMSE produced is 0.331; 0.334; 0.605 with an LE90 value of 0.546; 0.551; 0.778. Based on the LE90 value, it shows that the resulting orthophoto has a vertikal accuracy of 1:2500 in class 2 for the chessboard and self calibration methods and a vertikal accuracy of 1:2500 in class 3 for non-calibration.

Keywords : *calibration, photogrammetry, chessboard, self calibration.*

ABSTRAK

Teknologi pemetaan fotogrametri semakin berkembang, dari yang semula menggunakan kamera metrik, menjadi kamera nonmetrik. Sensor kamera non-metrik menjadi solusi yang lebih praktis daripada kamera metrik. Namun sensor ini memiliki masalah ketidakstabilan geometrik, sehingga diperlukan teknik kalibrasi untuk meminimalisir dan memperbaiki fokus kamera serta parameter orientasi dalam kamera.

Teknik kalibrasi yang digunakan adalah metode kalibrasi menggunakan target *chessboard* dan *self calibration*. Data yang digunakan yakni *RAW* foto udara, koordinat GCP dan ICP, serta data kalibrasi berupa pengambilan *marker* pada kalibrasi *chessboard*. Data tersebut digunakan untuk mengetahui perbandingan kualitas data yang dihasilkan dari proses pengolahan foto udara yang sudah terkalibrasi dengan metode *chessboard* ataupun *self calibration* dan yang belum terkalibrasi.

Hasil Uji $RMSE_{\text{Horizontal}}$ pada koordinat yang dihasilkan secara berurutan dari metode pengolahan dengan kalibrasi *chessboard; self calibration;* dan non kalibrasi adalah 0.159;0.178;0.183 dengan nilai CE90 secara berurutan 0.242; 0.271;0.278. berdasarkan nilai CE90 yang dihasilkan dari ketiga metode diatas *ortophoto* yang dihasilkan memiliki ketelitian horizontal 1:1000 pada kelas 1. $RMSE_{\text{Vertikal}}$ yang dihasilkan secara berurutan 0.331;0.334;0.605 dengan nilai LE90 0.546;0.551;0.778. Berdasarkan nilai LE90 menunjukkan bahwa *ortophoto* yang dihasilkan memiliki ketelitian Vertikal 1:2500 pada kelas 2 untuk metode *chessboard* dan *self calibration* serta ketelitian Vertikal 1:2500 pada kelas 3 untuk non kalibrasi.

Kata Kunci: kalibrasi, fotogrametri, *chessboard, self calibration*.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Fotogrametri merupakan salah satu metode pemetaan yang banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang. Fotogrametri sendiri diartikan sebagai suatu seni, pengetahuan dan teknologi untuk memperoleh informasi tentang suatu objek yang ada di permukaan bumi melalui proses perekaman, pengukuruan dan interpretasi gambaran fotografi dan radiasi energi elektromagnetik (Syauqani, dkk.,2017).

Seiring berkembangnya teknologi pemanfaatan wahana *UAV*/*drone*, maka diikuti pula dengan semakin berkembangnya teknologi pemetaan fotogrametri. Teknologi pemetaan fotogrametri dengan *drone* dianggap lebih memudahkan dalam pekerjaan pemetaan karena dapat di lakukan dengan waktu yang relatif cepat, akurasi ketelitian pengukuran tinggi dengan efisiensi biaya yang lebih murah. Apalagi ditambah dengan bentuk *drone* yang tidak terlalu besar sehingga memudahkan dalam mobilitas penggunaan di berbagai medan, serta sudah memiliki kemampuan untuk membawa media perekaman/sensor yang mumpuni dalam perekaman foto udara teliti (Bahar, 2015).

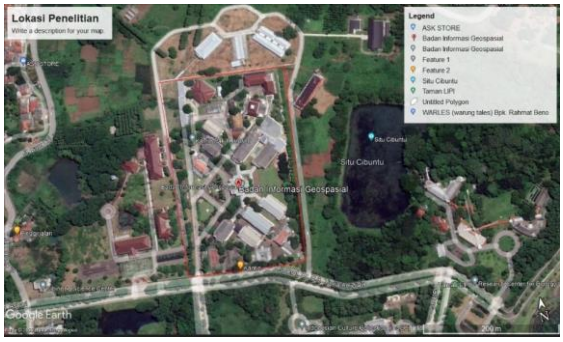
Salah satu masalah dalam penggunaan kamera non-metrik adalah ketidakstabilan geometrik. Ketidakstabilan geometrik inilah yang mengakibatkan lensa mengalami efek distorsi. Kamera non-metrik memiliki lensa yang tidak sempurna, ketidaksempurnaan ini mengakibatkan penentuan posisi pada foto udara yang dihasilkan dari perekaman kamera non-metrik mengalami kesalahan dan menjadi kurang akurat. Kualitas geometrik dari foto udara yang diambil dapat ditingkatkan dengan cara melakukan kalibrasi pada kamera yang digunakan. Kamera non-metrik dapat dikalibrasi dengan teknik tertentu sehingga parameter-parameter internal yang berpengaruh pada ketelitian geometrik foto dapat diketahui, dan kamera non-metrik dapat digunakan untuk aplikasi fotogrametri (Atkinson, 1996).

Untuk itu sebelum kamera non-metrik digunakan untuk kegiatan fotogrametri haruslah dikalibrasi terlebh dahulu, diperlukan teknik kalibrasi untuk meminimalisir ketidakstabilan geometrik, memperbaiki fokus kamera serta parameter orientasi dalam dan luar kamera (Purwanto, 2017).

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian tugas akhir ini dilakukan di Kecamatan Cibinong.



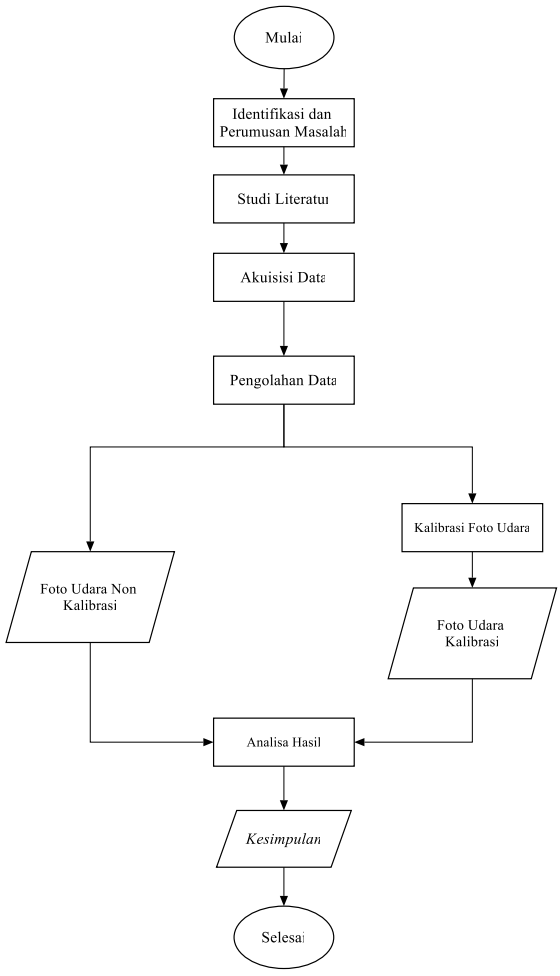
Gambar 1. Lokasi Penelitian

Dalam penelitian tugas akhir ini digunakan metode analisis kuantitatif untuk pengolahan data. Adapun penggunaan tahap analisis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Analisa nilai RMS *Error* dari titik titik GCP untuk melihat seberapa teiti pengolahan yang telah dilaksanakan.
2. Analisa data hasil kalibrasi dan non kalibrasi dengan menggunakan data ICP sesuai dengan standar uji kualitas ketelitian peta.
3. Analisa *orthophoto* yang dihasilkan oleh masing-masing pengolahan foto hasil kalibrasi dan non kalibrasi.

Kerangka Pemikiran

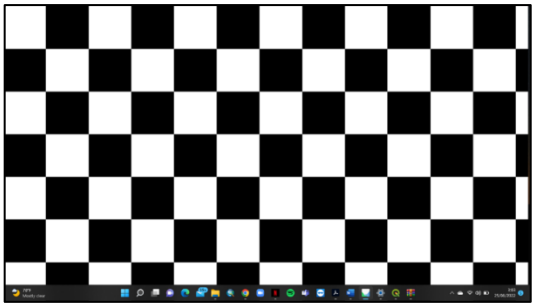
Kerangka pemikiran yang dilaksanakan dalam kegiatan ini dapat dilihat dari diagram di bawah ini :



Gambar 2. Kerangka Pemikiran

Pengolahan Data

Pengolahan data diawali dengan tahap kalibrasi terhadap foto udara. Kalibrasi yang dilakukan adalah kalibrasi lensa menggunakan *tools calibration.* Kalibrasi dilakukan dengan bantuan foto marker berupa *chessboard* yang di foto dalam orientasi 9 arah. Dari foto-foto tersebut kemudian didapatkan parameter-parameter untuk penentuan kalibrasi.



Gambar 3. *Marker* untuk kalibrasi *chessboard*

Pengolahan data selanjutnya pengolahan data *orthophoto* dilakukan menggunakan software *Agisoft Metashape*. Pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan terhadap data foto udara yang telah dikalibrasi serta data foto udara yang belum dikalibrasi. Proses pengolahan data dimulai dari import foto ke perangkat lunak kemudian melakukan proses *Align, Georeference, Cek nilai RMS, Optimize, Build dense cloud, Build Mesh, Build Texture* sampai ke *Build ortophotos* foto udara.

Analisis yang dilakukan berupa analisa nilai RMS *error* dari titik-titik GCP yang dimana digunakan untuk mengetahui ketelitian pengolahan data foto udara yang dilakukan. Analisas ini dilakukan pada proses *georeference* foto udara. Kemudian Analisa data hasil kalibrasi dan non kalibrasi dengan menggunakan data ICP sesuai dengan standar uji kualitas ketelitian peta dimana berpedoman pada perka BIG Nomor 8 Tahun 2018 tentang pedoman teknis ketelitian peta dasar dan Analisa visual objek yang dihasilkan oleh masing masing pengolahan foto hasil kalibrasi dan non kalibrasi untuk mengetahui bentuk objek terbentuk secara sempurna ataukah tidak.

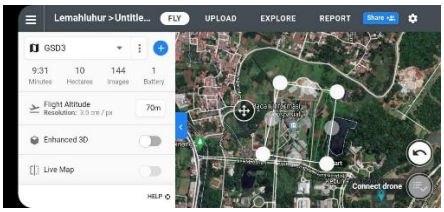
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan hasil pengolahan data untuk menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian dari penulisan tugas akhir ini. Hasil penelitian ini menguraikan mengenai hasil pembuatan jalur terbang, pengukuran GCP dan ICP,

hasil kalibrasi kamera dan hasil *orthophoto*. Berikut penjelasan secara rincinya :

1. Hasil Pembuatan Jalur Terbang

Dalam penelitian ini data pengambilan foto udara dilakukan oleh PT. Zona Spasial yang dimana data tersebut dihasilkan dari *hardware phantom* 4 dengan rencana jalur terbang di ketinggian terbang 70m dengan *overlap* 80% dan *sidelap* 60% dan waktu terbang 9.31 menit untuk area seluas 10 ha. Pembuatan jalur terbang menggunakan aplikasi *drone deploy* dengan *angle vertikal* dan *speed* yang cukup cepat.



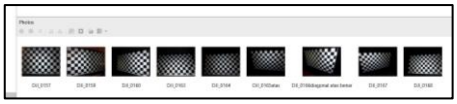
Gambar 4. Jalur terbang akuisisi data dengan DJI Phantom 4 Pro

2. Hasil Pengukuran GCP dan ICP

Pengukuran GCP dan ICP dilakukan oleh PT Zona Spasial pada tanggal 27 Juli 2022 di Kecamatan Cibinong menggunakan GNSS Geodetik Comnav t300 dengan metode statik menggunakan metode pengikatan secara radial dengan base CORS yang ada di wilayah tersebut. Terdapat 12 tempat berdiri alat dan terdapat 6 GCP dan 6 ICP. Namun dalam pengolahan ini data GCP PM 8 tidak digunakan karena jarak antar titik maksimal cukup besar. Pengukuran GCP dilakukan dengan durasi pengamatan selama 30 menit.

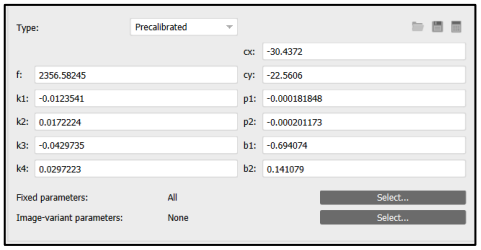
3. Hasil Kalibrasi Kamera

Kalibrasi kamera *Chessboard Lens* menggunakan metode papan kalibrasi dengan pola tertentu dengan melakukan pengambilan foto menggunakan kamera yang akan di kalibrasi minimal dari 9 arah yang berbeda dan 1 *frame* foto harus mencakup semua pola dan tidak ada *glare* efek cahaya di foto tersebut.



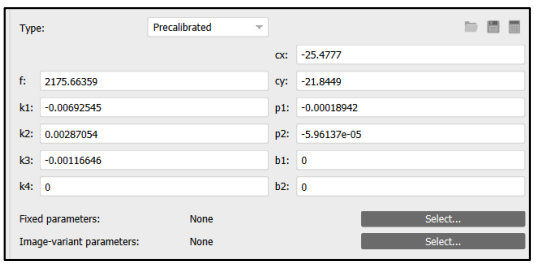
Gambar 5. Foto pola kalibrasi *chessboard*

Nilai parameter tersebut nantinya digunakan untuk mengetahui nilai pembanding dalam proses kalibrasi *bundle adjustment* dan pembanding dalam hasil produk akhir *orthophoto* serta nilai jarak horizontal dan Vertikal. Adapun nilai parameter yang dimaksud disajikan sebagai berikut:



Gambar 6 Nilai Parameter Kalibrasi *Chessboard*

Pada kalibrasi Bundle Adjustment Self-Calibration dilakukan secara *automatic calibration* dengan memasukkan hasil RAW foto kemudian di *optimize*. . Pada kalibrasi *self-calibration* nilai parameter b1, b2 nol dikarenakan pada *self-calibration* pengkalibrasian nya dilakukan dengan menggunakan *software* sehingga *software* otomatis mendeteksi tipe lensa yang digunakan yaitu lensa *superwide*. Sehingga butuh dikalibrasi agar nilai semua parameternya terbaca.



Gambar 7 Nilai Parameter *Bundle Adjustment Self-Calibration*

4. Hasil Pengolahan *Orthophoto*

Dari hasil *orthomosaic* metode *chessboard* dapat di visualisasikan seperti gambar dibawah ini. Visualisasi tersebut dapat mempresentasikan permukaan model

dengan baik karena gambar lebih presisi dengan sudut 90 derajat.

Gambar 8 Visualisasi *Orthophoto* Metode *Chessboard*

Sedangkan hasil *orthophoto* dengan metode *self calibration* memiliki ilustrasi seperti gambar dibawah ini. Visualisasi tersebut menunjukan gambar yang kurang presisi berbeda dengan metode *chessboard*. Dapat dilihat pada gambar paling kiri, bahwa geometri dari objek atap masih bergelombang. Hal ini dapat terjadi dikarenakan kualitas DSM yang kurang baik atau bisa disebabkan juga oleh efek pergeseran relief dan beda tinggi. Pergeseran relief adalah pergeseran posisi objek pada foto yang diakibatkan oleh efek proyeksi sentral dari kamera karena belum melakukan kalibrasi.

Gambar 9 Visualisasi *Orthophoto* Metode *Self Calibration*

Dari pengolahan foto udara tanpa kalibrasi dapat di visualisasikan hasil *orthophoto* seperti ilustrasi gambar dibawah ini. Visualisasi tersebut menunjukan gambar yang terdeksi *obscured area*. Hal ini dikarenakan efek pergeseran relief nya sangat besar sehingga sangat berpengaruh terhadap kualitas geometri dari *orthophoto* yang dihasilkan.

Gambar 10 Visualisasi *Orthophoto* Tanpa Kalibrasi

5. Analisis Uji Ketelitian Horizontal

Hasil Uji $RMSE_{Horizontal}$ pada koordinat yang dihasilkan dengan metode kalibrasi *chessboard* mendapatkan nilai akurasi RMSE $_{Horizontal}$ sebesar 0,159. Sedangkan untuk Nilai CE90 yang dihasilkan sebesar 0,242. Berdasarkan PerBIG No 6 tahun 2018, nilai CE90 yang dihasilkan dari tabel 4.3 diatas menunjukkan bahwa ortophoto yang dihasilkan memiliki ketelitian horizontal 1:1000 pada kelas 1.

Tabel 1 Hasil Uji $RMSE_{Horizontal}$ Metode kalibrasi *chessboard*

TITIK	ICP LAPANGAN		ICP FOTO		ΔE	ΔN	$\Delta E^2 + \Delta N^2$
	E_GNSS	N_GNSS	E_Foto	N_Foto			
PM_6	704577,566	9282128,081	704577,316	9282128,090	0,250	-0,009	0,063
PM_10	704469,225	9282238,508	704469,182	9282238,485	0,044	0,023	0,002
PM_12	704588,155	9282270,764	704588,021	9282270,704	0,134	0,060	0,022
PM_14	704554,106	9282332,022	704554,091	9282332,062	0,015	-0,040	0,002
PM_16	704554,492	9282163,533	704554,258	9282163,518	0,234	0,015	0,055
PM_17	704477,119	9282172,327	704477,028	9282172,300	0,091	0,027	0,009
						Jumlah	0,153
						Rerata	0,025
						RMSEr	0,159
						CE90	0,242

Hasil Uji $RMSE_{Horizontal}$ pada koordinat yang dihasilkan dengan metode kalibrasi *bundle adjustment* mendapatkan nilai akurasi RMSE $_{Horizontal}$ sebesar 0,178. Sedangkan nilai CE90 yang dihasilkan sebesar 0,271. Berdasarkan PerBIG No 6 tahun 2018, nilai CE90 yang dihasilkan dari tabel 4.6 diatas menunjukkan bahwa *ortophoto* yang dihasilkan memiliki ketelitian horizontal 1:1000 pada kelas 1.

Tabel 2 Hasil Uji $RMSE_{Horizontal}$ metode kalibrasi *bundle adjustment*

TITIK	ICP LAPANGAN		ICP FOTO		ΔE	ΔN	$\Delta E^2 + \Delta N^2$
	E_GNSS	N_GNSS	E_Foto	N_Foto			
PM_6	704577,566	9282128,081	704577,275	9282128,105	0,291	0,024	0,085
PM_10	704469,225	9282238,508	704469,225	9282238,508	0,000	0,000	0,000
PM_12	704588,155	9282270,764	704587,994	9282270,740	0,161	0,024	0,027
PM_14	704554,106	9282332,022	704554,121	9282332,079	-0,015	-0,057	0.004
PM_16	704554,492	9282163,533	704554,225	9282163,526	0,267	0,007	0.071
PM_17	704477,119	9282172,327	704477,056	9282172,313	0,063	0,014	0.004
						Jumlah	0.191
						Rerata	0.032
						RMSEr	0.178
						CE90	0.271

Hasil Uji $RMSE_{Horizontal}$ pada koordinat yang dihasilkan dengan metode non kalibrasi didapatkan nilai mendapatkan nilai akurasi RMSE $_{Horizontal}$ sebesar 0.183. Sedangkan nilai CE90 yang dihasilkan sebesar 0.278. Berdasarkan PerBIG No 6 tahun 2018, nilai CE90 yang dihasilkan dari tabel 4.8 diatas menunjukkan bahwa *ortophoto* yang dihasilkan memiliki ketelitian horizontal 1:1000 pada kelas 1.

Tabel 3 Hasil Uji $RMSE_{Horizontal}$ metode kalibrasi *bundle adjustment*

TITIK	ICP FOTO		ΔE	ΔN	$\Delta E^2 + \Delta N^2$
	E_Foto	N_Foto			
PM_6	704577,371	9282128,07	0,196	0,007	0,038
PM_10	704469,302	9282238,55	-0,076	-0,04	0,007
PM_12	704588,347	9282270,67	-0,192	0,093	0,046
PM_14	704554,297	9282332,05	-0,191	-0,025	0,037
PM_16	704554,28	9282163,59	0,211	-0,055	0,048
PM_17	704477,274	9282172,3	-0,155	0,028	0,025
				Jumlah	0,112
				Rerata	0,019
				RMSEr	0,183
				CE90	0,278

6. Analisis Uji Ketelitian Vertikal

Hasil Uji $RMSE_{Vertikal}$ pada koordinat yang dihasilkan dengan metode kalibrasi *chessboard* mendapatkan nilai akurasi $RMSE_{Vertikal}$ sebesar 0.331 dengan Nilai LE90 yang dihasilkan sebesar 0.546. Ketelitian Vertikal yang dihasilkan berdasarkan PerBIG No 6 tahun 2018, berdasarkan nilai LE90 menunjukkan bahwa ortophoto yang dihasilkan memiliki ketelitian Vertikal 1:2500 pada kelas 2. Karena ketelitian tersebut maka peta yang dihasilkan nantinya memiliki ketelitian Vertikal maksimal pada skala 1:2500 untuk setiap titik tinggi yang dihasilkan.

Tabel 4 Hasil Uji $RMSE_{Vertikal}$ metode *chessboard*

TITIK	ICP LAPANGAN	ICP FOTO	ΔZ	ΔZ^2
	Z_GNSS	Z_Foto		
PM_6	157,133	157,064	0,068	0,005
PM_10	157,324	157,102	0,221	0,049
PM_12	157,421	156,791	0,630	0,397
PM_14	156,810	156,622	0,188	0,035
PM_16	157,154	156,815	0,339	0,115
PM_17	157,371	157,131	0,240	0,058
			Jumlah	0,658
			Rerata	0,110
			RMSEz	**0,331**
			LE90	**0,546**

Hasil Uji $RMSE_{Vertikal}$ pada koordinat yang dihasilkan dengan metode kalibrasi *self calibration* mendapatkan nilai akurasi $RMSE_{Vertikal}$ sebesar 0.334 dengan nilai LE90 yang dihasilkan 0.551. nilai LE90 metode *self calibration* disini terlihat lebih besar daripada nilai LE90 pada metode pengolahan kalibrasi *chessboard* dengan hasil 0.546. Hal ini bisa diakibatkan oleh parameter kalibrasi yang berbeda sehingga menghasilkan nila koordinat foto yang berbeda pula. Adapun untuk ketelitian peta dalam posisi Vertikal yang dihasilkan dari metode pengolahan foto udara dengan *self calibration* ini adalah ketelitian Vertikal 1:2500 pada kelas 2.

Tabel 5 Hasil Uji $RMSE_{Vertikal}$ metode *self callibration*

TITIK	ICP LAPANGAN	ICP FOTO	ΔZ	ΔZ^2
	Z_GNSS	Z_Foto		
PM_6	157,133	157,720	-0,587	0,345
PM_10	157,324	157,429	-0,105	0,011
PM_12	157,421	157,399	0,021	0,000
PM_14	156,810	156,747	0,063	0,004
PM_16	157,154	157,678	-0,524	0,274
PM_17	157,371	157,553	-0,183	0,033
			Jumlah	0,668
			Rerata	0,111
			RMSEz	**0,334**
			LE90	**0,551**

Hasil Uji $RMSE_{Vertikal}$ pada koordinat yang dihasilkan dengan metode non kalibrasi mendapatkan nilai akurasi $RMSE_{Vertikal}$ sebesar .605 dengan nilai LE90 yang dihasilkan 0.778. nilai LE90 metode non kalibrasi disini yang paling besar daripada nilai LE90 pada kedua metode sebelumnya dimana metode *chessboard* < metode *self calibration* < metode non kalibrasi dengan nilai 0.546 < 0.551 < 0.778. Hal ini dikarenakan pada metode non kalibrasi, parameter kalibrasi lensa tidak digunakan sama sekali sehingga berpengaruh terhadap ketelitian Vertikal yang dihasilkan. Adapun untuk ketelitian peta dalam posisi Vertikal yang dihasilkan dari metode pengolahan foto udara dengan non kalibrasi ini adalah ketelitian Vertikal 1:2500 pada kelas 3.

Tabel 6 Hasil Uji $RMSE_{Vertikal}$ metode non kalibrasi

TITIK	ICP LAPANGAN Z_GNSS	ICP FOTO Z_Foto	ΔZ	ΔZ^2
PM_6	157,133	158,190	-1,057	1,118
PM_10	157,324	157,937	-0,613	0,376
PM_12	157,421	157,973	-0,553	0,306
PM_14	156,810	156,925	-0,115	0,013
PM_16	157,154	158,406	-1,252	1,567
PM_17	157,371	157,873	-0,502	0,252
			Jumlah	3,631
			Rerata	0,605
			RMSEz	**0,778**
			LE90	**1,284**

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Hasil Uji RMSEhorizontal dengan memiliki urutan metode pengolahan foto udara dengan

kalibrasi *chessboard*; self calibration; dan non kalibrasi menghasilkan nilai 0.159; 0.178; 0.183. Sedangkan hasil Uji RMSEVertikal yang dihasilkan secara berurutan menghasilkan 0.331; 0.334; 0.605. Untuk Uji RMSEhorizontal dan Uji RMSEVertikal metode chessboard lebih akurat dibandingkan dengan yang lainnya.

2. Uji ketelitian geometrik pada penelitian ini menghasilkan nilai CE90 pada kalibrasi *chessboard*; self calibration; dan non kalibrasi adalah 0.242; 0.271; 0.278; berdasarkan hasil tersebut menghasilkan *orthophoto* dengan ketelitian horizontal pada kelas 1 dengan skala 1:1000. Sedangkan nilai LE90 yang dihasilkan sebesar 0.546; 0.551; 0.778. berdasarkan nilai LE90 tersebut menunjukkan bahwa othophoto yang dihasilkan memiliki ketelitian Vertikal di skala 1:2500 pada kelas 2 untuk metode *chessboard* dan self calibration dan skala 1:2500 pada kelas 3 untuk non kalibrasi.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dalam penelitian ini, maka saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Orientasi pengambilan foto kalibrasi kamera perlu dilakukan sebanyak banyaknya agar dapat lebih detail mengetahui pergeseran distorsi.
2. Perlu dilakukan pengujian dengan metode pengukuran lain seperti pengukuran terestris sebagai pembanding tingkat akurasi dan hasil penelitian lebih variatif.
3. Perlu dilakukan pengujian dengan metode dan proses kalibrasi dengan perangkat lunak yang berbeda seperti photomodeller dan pix4d.

DAFTAR PUSTAKA

Admaja Kuncoro P, (2021). *Uji Ketelitian Peta Foto Hasil Pemotretan Menggunakan Kamera Non-metrik Dan Wahana UAV VTOL*. Skripsi. Yogyakarta.

Admoko, Dwi (2015) *Kajian Pembuatan Dem Menggunakan Perangkat Lunak Agisoft Dan Pix4dmapper Dari Data Pemotretan UAV (Studi Kasus: Desa Gading Kulon-Kecamatan Dau Kabupaten Malang Jawa Timur).* Skripsi thesis, Institut Teknologi Nasional Malang.

Avicenna Mohammad, (2018). *Analisa Kalibrasi Kamera Non-Metrik Pada Wahana Tanpa Awak (Drone) Jenis Multicopter RTF*. Skripsi. Surabaya.

Carlos, R. F. Sanchez-Salmeron, A. J. (2010). *Lens Distortion Models Evaluation*. Spain: Department of Systems Engineering and Automatic Control, Polytechnic University of Valencia

Danurwendi, C. (2012). *Pemanfaatan Fotogrametri Rentang Dekat Dalam Bidang Arsitektur Lanskep (Studi Kasus: Campus Center ITB)*. Bandung: : Institut Teknologi Bandung.

Fraser, C. S. (1997). *Digital Camera Self-Calibration*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 52, 4:149-159.

Gularso, H., Subiyanto, S., dan Sabri, L. M. (2013). *Tinjauan Pemotretan Udara Format Kecil Menggunakan Pesawat Model Skywalker 1680 (Studi Kasus Area Sekitar Kampus UNDIP)*. Jurnal Geodesi UNDIP 2, 2:78-94.

Harintaka, dkk. (2008). *"Pemodelan ketidakstabilan kamera dan gerakan Pesawat pada saat pemotretan Foto udara format kecil".* Yogyakarta. Universitas Gadjah Mada.

Haqim, L. (2016). *"Modul Pelatihan Pemetaan Berbasis Drone Desa".* Sekolah Drone Desa. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Kafiar, M. T, (2020). *"Visualisasi 3D Modelling Dari Hasil Kombinasi Kamera DSLR Dan UAV Dengan Metode Close Range Photogrammetry (Studi Kasus: Objek Plengsengan, Bendung Sengkaling, Desa Tegal Gondo, Kecamatan Karang Ploso, Kabupaten Malang)"*. Skripsi. Institut Teknologi Nasional. Malang.

Maharani, M. (2015). *Analisis Ketelitian Model Tiga Dimensi Bangunan Besar yang Dihasilkan dari Metode Fotogrametri Jarak Dekat.* Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

Nugroho Prijono dan Parseno. (2004). *"Evaluasi Ketelitian Geometri Citra Ikonos Level Geo Daerah Datar Terhadap Peta Orthophoto Skala 1:2500".* Universitas Gajah Mada 2004.

Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial. *Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.* PerKa BIG No. 15 Tahun 2014.

Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial. *Tata Cara Penyelenggaraan Informasi Geospasial.* PerKa BIG No. 18 Tahun 2021.

Purwanto, T. H, (2017), *'Pemanfaatan foto udara format kecil untuk ekstraksi digital elevation model dengan metode stereoplotting*, Majalah Geografi Indonesia, Vol 31 No.1, hlm. 73–89.

Putera, B.A.S. (2012). *Kalibrasi Kamera Non-Metrik Dengan Metode Self-Calibration.* Skripsi. Institut Teknologi Surabaya. Surabaya

Saraoinsong Samuel Hardy, Poekoel C. Vecky. (2018). *"Rancang Bangun Wahana Pesawat Tanpa Awak (Fixed Wing) Berbasis Ardupilot"*. Teknik elektro samratulangi Manado 2018.

Suharsana, (1997), *Fotogrametri Dasar*, Jurusan teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Syauqani, A., Subiyanto, S., & Suprayogi, A. (2017). *Pengaruh Variasi Tinggi Terbang Menggunakan Wahana Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Quadcopter DJI Phantom 3 Pro Pada Pembuatan Peta Orthophoto (Studi Kasus Kampus Universitas Diponegoro).* Jurnal Geodesi UNDIP, 6 (1), 249- 257.

Sulistyo T, (2022). *Pelatihan Pemetaan Menggunakan Wahana Udara Nirawak (Drone/UAV) Berbasis Kamera Non-metrik.* Bogor.

Tirmidzi A, (2021). *Analisis Ketelitian Pemetaan Skala 1:1000 Dengan Wahana DJI Phantom 4 Pro Untuk Updating Data Master Plan Kampus ITS Sukolilo.* Skripsi. Institut Teknologi Surabaya. Surabaya.

Tobing, F. M. (2020). *Evaluasi Perbandingan Ketelitian Horizontal Pemetaan Foto Udara Fixed Wing Rakitan Dengan Multirotor UAV (Studi Kasus: Desa Kandangan, Kecamatan Duduk Sampeyan, Kabupaten Gresik, Jawa Timur).* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Wolf, P. R. (1983). *Elements of Photogrammetry With Air Photo Interpretation and Remote Sensing.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press. doi: ISBN: 979-420-278-9

Wolf, P. R., Dewitt, B. A., dan Wilkinson B. E. (2014). *Elements of Photogrammetry With Application in GIS, Fourth Edition.* McGraw-Hill Education.