
METODE KALIBRASI IN-FLIGHT KAMERA DIGITAL NON-METRIK UNTUK KEPERLUAN CLOSE-RANGE PHOTOGRAMMETRY

Husnul Hidayat*, Agung Budi Cahyono, Mohammad Avicenna

Departemen Teknik Geomatika FTSLK-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111

e-mail: hidayat@geodesy.its.ac.id

Abstrak

Perkembangan perangkat lunak yang tersedia dan turunnya harga kamera digital non-metrik membuat metode *Close Range Photogrammetry* (CRP) menjadi salah satu teknik alternatif untuk diterapkan pada pekerjaan-pekerjaan survey dan pengukuran seperti penentuan dimensi fisik maupun penyajian informasi visual objek yang cepat dan akurat. Untuk itu dilakukan sebuah uji coba dengan menggunakan metode CRP dalam aplikasi pengukuran titik kontrol. Pada penelitian ini dilakukan analisa pengukuran titik kontrol *sampling* dengan metode terestris serta pengukuran titik kontrol dengan metode CRP menggunakan Kamera Sony Exmor. Pengambilan data foto udara untuk CRP dilakukan dengan 9 orientasi pengambilan foto pada saat pemotretan udara dan setelah itu dilakukan kalibrasi kamera *In-Flight* dengan menggunakan *bundle adjustment self calibration* yang menghasilkan parameter IOP (*Interior Orientation Parameter*) dan EOP (*Exterior Orientation Parameter*). Dari hasil pengujian kamera memiliki nilai RMS sebesar 0.56 piksel pada tahap kalibrasi *In-Flight*. Titik *sampling* yang dihasilkan dengan metode CRP dibandingkan dengan hasil titik *sampling* metode terestris menghasilkan RMS sebesar 0.104 m, yang berpengaruh terhadap pergeseran pada titik *sampling* foto, di mana pergeseran linier terbesar terjadi pada titik *sampling* CRP koordinat Y sebesar 0.187 m dan koordinat X sebesar 0,173 m sehingga dapat disimpulkan bahwa metode CRP dapat digunakan untuk pemetaan skala besar dengan area yang relatif kecil.

Kata kunci : *Close-Range Photogrammetry*, Kalibrasi kamera *In-Flight*, Pengukuran terestris

PENDAHULUAN

Peta situasi skala besar biasanya diperlukan untuk perencanaan, konstruksi ataupun manajemen aset, di mana pekerjaan-pekerjaan tersebut memerlukan peta yang selalu terbaru. Saat ini selain informasi spasial, informasi tekstual dari peta juga diperlukan untuk menambah informasi (Atkinson, 1996). Teknologi pemetaan digital skala besar dengan area yang relatif kecil yang saat ini sering digunakan adalah teknologi dengan menggunakan Total Station. Tetapi teknologi ini masih sangat mahal dan belum ada kecenderungan penurunan biaya dari teknologi ini. Dalam permasalahan tersebut terdapat terminalogi lain dalam melakukan pemetaan skala besar yang relatif kecil dengan cepat yaitu dengan Fotogrametri Rentang Dekat atau lebih dikenal dengan Close Range Photogrammetry (CRP).

Teknik CRP pada awalnya memang sudah digunakan untuk pekerjaan pemetaan, namun karena banyak pertimbangan seperti cakupan daerah yang dapat dipetakan dan belum

berkembangnya fotogrametri analitik membuat fotogrametri terestris kurang dikenal. CRP telah diaplikasikan banyak dalam bidang non topografi karena memiliki banyak keunggulan dibandingkan metode lainnya (Wolf, 1983).

Dengan situasi kurangnya pemanfaatan CRP, Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran menggunakan metode fotogrametri jarak dekat (CRP) dan pengukuran terestris menjadi hasil acuan pengukuran titik *sampling*. Pada pengukuran CRP dilakukan dengan menggunakan software Australis dengan model perhitungan *bundle adjustment self-calibration* sedangkan untuk pengukuran terestris akan dilakukan dengan menggunakan metode tachymetri. Hasil penelitian ini merupakan titik *sampling* dan parameter kalibrasi kamera yang digunakan untuk mengetahui pergeseran linier titik *sampling* yang disebabkan oleh distorsi lensa dan pengaruh metode CRP yang didapat dijadikan terminalogi pemetaan secara cepat dengan area yang relatif kecil.

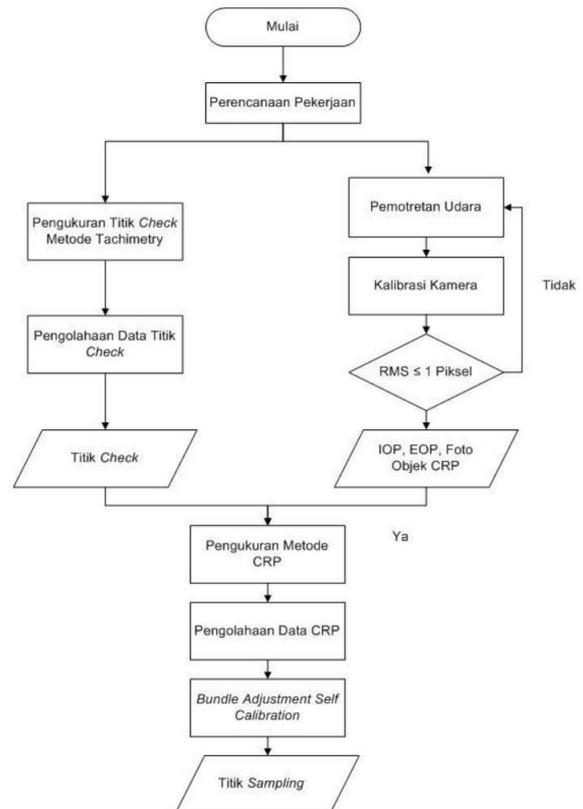
METODE

Lokasi penelitian ini dilakukan di kampus ITS Surabaya. Adapun pengukuran terestris dan CRP dilakukan di lapangan voli ITS (FASOR). Lokasi ini dipilih karena relatif datar, luas, dan terbuka sehingga sesuai untuk akuisisi data menggunakan kamera yang dibawa oleh wahana UAV maupun pengukuran dengan metode terestris.

Dalam penelitian ini dilakukan proses akuisisi data foto udara yang memuat objek berupa *artificial target* yang digunakan untuk proses *self calibration*. Ada 25 titik target yang dipotret dalam penelitian ini. Titik-titik target tersebut terletak di tanah dan diukur koordinatnya dengan total station. Keseluruhan titik tersebut dipotret dari 9 pose kamera yang berbeda. Wahana yang digunakan untuk pemotretan adalah kamera Sony Exmor yang merupakan kamera *built in* dari wahana UAV DJI Phantom 3 Advanced.

Secara umum, alur pengolahan data dalam penelitian ini adalah melakukan proses *in flight calibration* dengan menerapkan teknik *self calibration bundle adjustment* dari data foto udara beserta titik kontrol tanahnya. Secara lebih mendetail alur pengolahan data dapat dilihat pada Gambar 1.

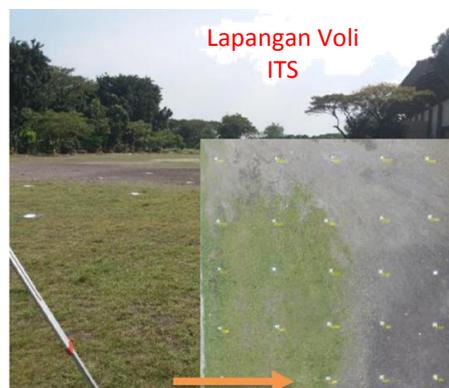
Proses penelitian diawali dengan penyiapan wahana, peralatan survey lapangan, dan bahan. Kemudian dilakukan proses akuisisi data. Selanjutnya dilakukan pengolahan dari data yang telah didapat di lapangan dan data penunjang lainnya. Data yang didapat dari lapangan berupa hasil pemotretan foto udara untuk pengolahan CRP dan pengukuran titik check merupakan pengukuran terestris. Data CRP tersebut diolah dengan *bundle adjustment self-calibration* sedangkan data pengukuran terestris dengan metode tachymetri. Kemudian dilakukan analisis kesalahan horisontal dari penentuan posisi dari data foto udara berdasarkan data hasil pengukuran terestris.

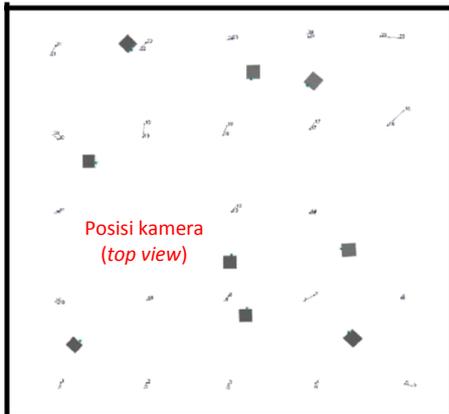


Gambar 1. Alur pengolahan data (Penulis, 2018)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kalibrasi menggunakan marker berukuran 40cm X 40cm dengan dilapisi sebuah kertas hitam dan diberi stiker reflektor berdiameter 10 cm di posisi *center* pada papan tersebut diolah dengan *bundle adjustment self-calibration* dan menghasilkan parameter IOP dan EOP. Ilustrasi proses kalibrasi *in-flight* dan distribusi titik target dapat dilihat pada Gambar 2. Sedangkan hasil parameter IOP dan EOP dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.



Gambar 2. Proses kalibrasi *in flight* (Penulis, 2018)

Tabel 1. Parameter IOP Kamera

Parameter IOP	Nilai
C	4.012 mm
Xp	3,991mm
Yp	1,637 mm
K1	-1.42868e-04
K2	8.65942e-06
K3	-2.21741e-07
K4	2.64106e-09
K5	-1.16088e-11
P1	-4.60783e-05
P2	-3.04106e-04
B1	-1.25159e-02
B2	1.84932e-03

Tabel 2. Komponen Orientasi Parameter EOP

Foto	ω	ϕ	κ
1	1.570	0.000	0.000
2	1.704	0.117	0.777
3	1.579	0.164	1.613
4	1.458	0.103	2.429
5	1.421	-0.007	3.125
6	1.468	-0.132	-2.391
7	1.596	-0.183	-1.585
8	1.722	-0.115	-0.743

Tabel 3. Komponen Posisi Parameter EOP

Image	Xc (mm)	Yc (mm)	Zc (mm)
1	-0.050	0.001	-0.008
2	777.553	1.337	-516.091
3	758.537	-16.216	64.529
4	544.720	-47.915	1150.942
5	161.865	-50.604	1223.547
6	-640.931	-57.130	1427.609
7	-906.467	-55.822	659.687
8	-1028.914	-8.916	-565.444

Ketelitian yang dihasilkan dari kalibrasi diatas masih memiliki kekurangan dalam menghasilkan

nilai yang stabil terhadap parameter IOP dan EOP (Merrit, 1948). Kalibrasi *In-Flight* menghasilkan pergeseran linier dan ketidakstabilan pada kamera (Hanifa, 2007). Oleh karena itu menghasilkan nilai *Point Residual* 0.56 piksel dan kualitas *Self-Calibration* sebesar 1.2 piksel.

Sistem kesegarisan merupakan konsep dasar dari transformasi koordinat foto dengan koordinat tanah. Titik sampling yang ada pada hasil foto dan yang didapat melalui pengukuran terestris ini akan dilakukan Georeference, dimana titik sampling yang digunakan yaitu sistem koordinat lokal. Titik sampling lokal dimulai dengan X dan Y (0,0). Pada penelitian ini titik kontrol yang didapat melalui pengukuran terestris akan digunakan pada titik kontrol yang berada di hasil titik sampling foto udara. Titik sampling pada foto ditandai dengan sebuah marker. Setelah itu proses yang dilakukan yaitu mengubah orientasi foto pada sumbu X dan Y dengan kosep kolinierisasi. Sumbu X dan Y pada hasil foto sangat berpengaruh pada titik kontrol yang dihasilkan karena dapat membuat posisi titik sampling yang ada di foto berbeda dengan yang ada pada pengukuran terestris. Adapun hasil selisih koodinat foto dengan koordinat lapangan disajikan pada Tabel 4. Selisih Nilai Koordinat Total Station dengan Foto

Tabel 4. Selisih Nilai Koordinat Total Station dengan Foto

Titik	X (m)	Y (m)
1	0,000	0,000
2	0,028	0,013
3	0,023	0,004
4	0,025	0,047
5	0,017	0,087
6	0,033	0,005
7	0,049	0,010
8	0,037	0,025
9	0,031	0,038
10	0,025	0,041
11	0,015	0,020
12	-	-
13	0,082	0,092
14	0,049	0,076
15	-	-
16	0,073	0,037
17	0,042	0,052
18	0,081	0,044
19	0,013	0,038

Titik	X (m)	Y (m)
20	0,032	0,039
21	0,050	0,056
22	0,089	0,045
23	0,004	0,060
24	0,059	0,037
25	0,011	0,029

Dari hasil selisih Total Station dengan foto dapat dianalisa bahwa titik sampling 12 dan 15 tidak terdeteksi saat pengolahan data foto pada metode CRP dan terjadinya pergeseran terbesar pada titik sampling X sebesar 89 mm dan 92 mm pada titik sampling Y. Hal ini menunjukkan bahwa pengolahan titik sampling yang ada pada foto dapat digunakan sebagai hasil pengukuran.

Dari hasil pengukuran titik sampling metode CRP dengan menggunakan kamera non-metrik didapat titik sampling 12 dan 15 tidak terdeteksi saat pengolahan data foto hal ini disebabkan oleh data transformasi koordinat, geometri pemotretan, penandaan titik, dan jumlah kemunculan titik (Kusumadharma, 2008).

Transformasi yang dilakukan dengan membandingkan data ukuran (Total Station) dengan hasil ukuran pada foto sehingga diketahui sejauh mana efek perambatan kesalahan ketika data pendekatan yang digunakan adalah hasil transformasi koordinat. Dengan menggunakan 9 foto pada kalibrasi *In-Flight* akan dihasilkan 8 station foto karena 1 foto mengalami kerusakan. Kemudian dilakukan transformasi koordinat untuk membentuk 1 model dari 8 foto. Model inilah yang digunakan sebagai koordinat pendekatan dalam proses reseksi. Banyaknya transformasi koordinat ini akan sangat berpengaruh terhadap hasil pengolahan karena akan ada perambatan kesalahan. Hasilnya adalah banyaknya titik yang akan ditolak ketika dilakukan *bundle adjustment*.

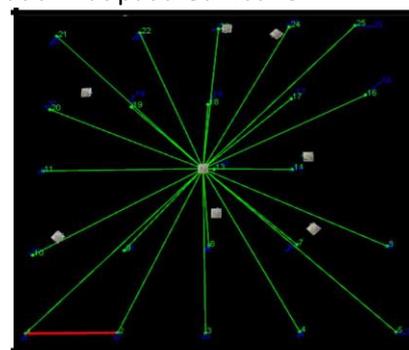
Sedangkan dari segi geometri, pengukuran sudut yang baik adalah yang mendekati sudut 90°. dikarenakan marker yang tersusun tidak baik dan ketinggian dalam pemotretan yang kurang stabil. Hal ini memberikan dampak terhadap jarak yang dihasilkan antara koordinat foto dengan pengukuran TS cukup besar.

Titik yang ditandai di foto berupa target (*marker*) sehingga menyebabkan penandaan tidak bisa dilakukan dengan bantuan penanda otomatis (*Automatic Marking*) *software* yang digunakan.

Ketidaktepatan dalam penandaan posisi titik di foto, antara satu foto dengan foto lainnya (proses *referencing*) akan menyebabkan kesalahan dalam penghitungan posisi titik tersebut sehingga menurunkan ketelitiannya. Jika sebuah titik muncul dalam dua atau lebih foto dan pengguna memperkirakan lokasi titik yang muncul dalam salah satu foto maka hasilnya akan memberikan ketelitian yang kurang dan mungkin akan ditempatkan dalam posisi yang salah dalam ruang 3D.

Posisi yang direkam lebih dari dua posisi kamera (foto), dapat memberikan ketelitian posisi yang lebih baik dari pada yang hanya dihitung dari dua posisi kamera, karena semakin banyak persamaan pengamatan yang dibentuk dari perpotongan berkas-berkas sinar untuk menentukan posisi titik tersebut dengan tepat yaitu dengan menghitung posisi titik yang direkam lebih dari dua foto, maka dapat mengurangi kesalahan dalam proses penandaan titik (*point marking*) di foto, karena kesalahan penandaan titik pada satu foto akan dikompensasi dari foto-foto lainnya. Jika hanya ada dua posisi kamera untuk sebuah titik, maka jika terjadi kesalahan penandaan titik, kesalahan akan sulit diketahui dan menyebabkan posisi titik tidak akurat.

Jumlah titik yang diolah sebanyak 25 titik, namun titik yang berhasil diolah berjumlah 23 titik. Rata-rata sigma untuk tiap titik adalah 0.063 m ke arah X dan 0.064 m ke arah Y. Hasil ini sesuai dengan asumsi bahwa untuk pengukuran CRP ketelitian ke arah Y akan lebih jelek dibandingkan pengukuran ke arah X. Ini karena pada metode kalibrasi *In-Flight* arah Y adalah jarak pemotretan sebanding dengan arah Z pada fotogrametri udara. Dari hasil pengolahan *bundle adjustment self-calibration* dapat dikatakan hasil pengolahan foto menunjukkan hasil yang presisi. Adapun visualisasi pergeseran titik dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pergeseran titik sampling foto terhadap titik sampling tanah

Tingkat akurasi koordinat hasil pengolahan foto dapat dilihat dengan menghitung kesalahan terhadap data koordinat dari ukuran Total Station. Nilai koordinat dari data Total Station diasumsikan sebagai nilai yang benar. Besar kesalahan dihitung dengan menggunakan RMSE. Dengan menggunakan data Total Station diperoleh RMSE 0,104 m. Tingkat keakuratan ini dapat dibandingkan dengan resolusi spasial dari kamera. Resolusi spasial adalah kemampuan sensor kamera untuk mendeteksi objek terkecil. Kamera Sony Exmor yang digunakan memiliki ukuran sensor sebesar 0.110 mm, dengan jarak fokus 4 mm. Jika rata-rata jarak pemotretan adalah 10 m, maka resolusi spasial yang diharapkan adalah 0.275 m.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Pada hasil parameter IOP kalibrasi kamera *In-Flight* menghasilkan RMS sebesar 0.56 piksel sehingga dihasilkan resolusi spasial sebesar 0.275 m.
2. Pada kalibrasi kamera *In-Flight* parameter EOP yang mengalami perubahan besar pada Parameter penentu posisi (X_c, Y_c dan Z_c) sehingga menimbulkan pergerakan kamera pada wahana Dji Phantom dan terjadinya ketidakstabilan pada saat melakukan pemotretan.
3. Pada parameter kalibrasi kamera *In-Flight* parameter EOP penentu orientasi terjadinya perubahan kecil antar foto, dengan nilai rata-rata dari ω sebesar 1.565, ϕ sebesar - 0.007 dan κ sebesar 0.403. Oleh karena itu pada metode CRP ini data pengukuran titik *sampling* dapat digunakan.
4. Kamera non-metrik Sony Exmor dapat digunakan untuk pemetaan skala besar menurut perka BIG No.15 tahun 2014 dengan hasil RMS sebesar 0,108 m sehingga dapat digunakan untuk pemetaan Skala 1:1000 dengan area yang relatif kecil.
5. Pergeseran linier koordinat foto terhadap koordinat tanah menghasilkan nilai rata-rata terhadap koordinat X: 0.041 m dan RMS terhadap Y: 0.042 m.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Kadaster dan Kebijakan Pertanahan Teknik Geomatika ITS yang telah meminjamkan wahana UAV. Tidak lupa penulis ucapkan pula terima kasih kepada Laboratorium Geodesi dan Surveying Teknik Geomatika ITS yang telah meminjamkan peralatan survey.

DAFTAR PUSTAKA

- Anshari, M. F. (2015). Kalibrasi Kamera Non-metrik Digital pada Kegiatan Fotogrametri Bawah Air. Tugas Akhir. Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Atkinson, K.B. (1996). *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland, UK: Whittles Publishing.
- Hanifa, N. R. (2007). Studi Penggunaan Kamera Digital Low-Cost Non-Metric Auto Focus untuk Pemantauan Deformasi. Tesis. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Honkavaara, E (2004). *In-flight Camera Calibration for Direct Georeferencing*. Finland: Finnish Geodetic Institute.
- Kusumadarma, A. (2008). Aplikasi Close Range Photogrammetry dalam Pemetaan Bangunan Rekayasa dengan Kamera Digital Non-metrik Terkalibrasi. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Merrit, E.L. (1948). *Field Camera Calibration*. *Photogrammetric Engineering Record*, 17(4): 611-535. USA.
- Wolf, P.R. (1983). *Elements of Photogrammetry, 2nd Edition*. USA: McGraw-Hill Book Company