

UJI AKURASI KOORDINAT DARI KONFIGURASI JARINGAN PEMOTRETAN MENGGUNAKAN KAMERA NON METRIK Studi Kasus di Pandansari, Ngantang, Kabupaten Malang

Martinus Edwin Tjahjadi ¹⁾, Fransisca Dwi Agustina ²⁾, Roshina Agnesta ³⁾
¹⁾²⁾³⁾ Program Studi Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Malang
E-mail: edwin@lecturer.itn.ac.id

ABSTRAK

Pada saat ini perkembangan teknologi kamera digital telah berkembang pesat, dengan memiliki kemampuan resolusi yang bervariasi dan stabilitas kamera yang baik dapat menghasilkan kamera menjadi salah satu alternatif untuk diterapkan pada pekerjaan pemetaan seperti penentuan dimensi pada objek, penggambaran hingga penyajian informasi visual yang cepat dan akurat (Hanifa, 2007). Pada penelitian ini, peneliti memanfaatkan kamera *DSLR* yang tergolong kamera non metrik sebagai teknologi yang digunakan untuk menentukan dimensi pada objek. Teknik pemotretan menggunakan kamera *DSLR* perlu di lakukan uji akurasi koordinat dari konfigurasi jaringan pemotretan guna mengetahui bagaimana hasil keakurasian koordinat pada kamera non metrik.

Dengan menerapkan metode *Close Range Photogrammetry (CRP)* dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk melakukan pemotretan konfigurasi jaringan kamera dengan memanfaatkan teknologi kamera *DSLR*. Metode tersebut dapat membantu proses pengukuran objek karena umumnya memanfaatkan waktu yang relative cepat dan dapat menghasilkan ketelitian tinggi. Metode pelaksanaan pemotretan harus diperhatikan dari semua aspek fotogrametri baik dari besar sudut pengambilan antar titik yang terkait langsung dengan pertampalan antar citra, hingga fokus kamera yang digunakan untuk hasil maksimal (Irawan, 2012 dalam Natar, 2020). Konfigurasi pemotretan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pemotretan normal dan konvergen. Tujuan dari penerapan konfigurasi pemotretan tersebut untuk dapat mengetahui kualitas akurasi dari konfigurasi jaringan pemotretan menggunakan kamera non metrik serta dapat menganalisa keakurasian konfigurasi jaringan konvergen dan normal dengan melakukan perbandingan data jarak hasil pengukuran menggunakan *Electronic Total Station*. Data jarak titik target koordinat dari pengukuran *Electronic Total Station* dijadikan sebagai data acuan yang diasumsikan sebagai data yang dianggap benar.

Berdasarkan hasil pengukuran pada koordinat menggunakan kamera *DSLR* dengan menerapkan konfigurasi jaringan pemotretan maka hasil uji RMSE jarak titik target koordinat dengan acuan data pengukuran *Electronic Total Station*, nilai akurasi dari konfigurasi normal sebesar 0.0028 m dan nilai akurasi dari konfigurasi konvergen sebesar 0.003 m. Hasil tersebut membuktikan bahwa kualitas akurasi konfigurasi pemotretan normal dan konvergen tidak memiliki selisih perbedaan yang signifikan. Kamera *DSLR* yang tergolong kamera non metrik dapat digunakan pada pekerjaan pemetaan suatu objek dengan melihat hasil uji akurasi koordinat dari konfigurasi pemotretan yang menghasilkan ketelitian akurat yaitu nilai RMSE < 1 m.

Kata kunci: kamera *DSLR*, fotogrametri jarak dekat, pemotretan *konvergen*, pemotretan *normal*

ABSTRACT

At this time the development of digital camera technology has grown rapidly, by having varied resolution capabilities and good camera stability, the camera can become an alternative to be applied to mapping work such as determining dimensions of objects, drawing to presenting visual information quickly and accurately. Hanifa, 2007). In this study, researchers used DSLR cameras which are classified as non-metric cameras as the technology used to determine the dimensions of objects. The shooting technique using a DSLR camera needs to be tested for coordinate accuracy from the shooting network configuration in order to find out how the coordinate accuracy results on non-metric cameras.

By applying the Close Range Photogrammetry (CRP) method, it can be used as an alternative method for shooting camera network configurations by utilizing DSLR camera technology. This method can help the process of measuring objects because they generally use relatively fast time and can produce high accuracy. The method of carrying out the shooting must be considered from all aspects of photogrammetry, both from the angle of taking between points that are directly related to the overlap between images, to the focus of the camera used for maximum results (Irawan, 2012 in Natar, 2020). The shooting configuration carried out in this study is normal and convergent shooting. The purpose of implementing the shooting configuration is to be able to determine the accuracy quality of the shooting network configuration using a non-metric camera and to be able to analyze the accuracy of convergent and normal network configurations by comparing the distance measurement data using

an *Electronic Total Station*. The distance data of the target coordinates of the *Electronic Total Station* measurements are used as reference data which is assumed to be data that is considered correct.

Based on the results of measurements on coordinates using a *DSLR* camera by applying a shooting network configuration, the results of the *RMSE* test for the distance of the coordinate target point with reference to the *Electronic Total Station* measurement data, the accuracy value of the normal configuration is 0.0028 m and the accuracy value of the convergent configuration is 0.003 m. These results prove that the accuracy of the normal and convergent shooting configurations does not have a significant difference. *DSLR* cameras which are classified as non-metric cameras can be used in mapping an object by looking at the results of the coordinate accuracy test of the shooting configuration that produces accurate accuracy, namely the *RMSE* value < 1 m.

Keywords: *DSLR* camera, close-up photogrammetry, convergent shooting, normal shooting

PENDAHULUAN

Pada umumnya teknologi fotogrametri menurut (Atkinson, 2001) dapat digunakan untuk memperoleh informasi akurat mengenai suatu objek fisik dan keadaan di sekitarnya dengan melakukan analisis foto digital tanpa melakukan pengukuran secara langsung. Salah satu metode yang digunakan dalam melakukan analisis foto dengan menerapkan metode fotogrametri jarak dekat atau *close range photogrammetry*. Pada saat ini metode tersebut digunakan untuk objek dengan jarak kurang dari 100 meter dari posisi kamera (Atkinson, 1996). Kelebihan dari metode tersebut yaitu dapat diaplikasikan pada objek yang sulit dijangkau atau pada objek yang dimensinya kecil.

Metode *Close Range Photogrammetry* (CRP) digunakan sebagai metode alternatif untuk melakukan pemotretan dengan menerapkan konfigurasi jaringan kamera dan memanfaatkan teknologi kamera digital non metrik. Teknik pelaksanaan harus perlu diperhatikan dari aspek fotogrametri terkait dengan besar sudut pengambilan antar titik yang terkait langsung dengan pertampalan antar foto, hingga fokus kamera yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang maksimal (Irawan, 2012 dalam Natar, 2020)

Fotogrametri jarak dekat atau CRP dapat mengkombinasi akuisisi data geometri dan tekstur suatu benda sehingga ketelitian dalam rekonstruksi suatu bangunan dapat terbentuk sangat baik. Adapun ketelitian dalam fotogrametri jarak dekat menurut (Harintaka, 2012), dipengaruhi oleh: base/height rasio, jumlah foto, jumlah titik kontrol, jumlah titik diukur difoto (*tie point*), GSD piksel dan IOP (*Internal Orientation Parameter*) dan EOP (*External Orientation Parameter*).

Aspek penting yang perlu di teliti yaitu untuk meningkatkan ketelitian atau akurasi dengan cara menerapkan dan mendesain konfigurasi jaring pemotretan. Konfigurasi jaringan pemotretan dapat dilakukan dengan dua teknik yaitu jaringan pemotretan konvergen dan jaringan pemotretan normal. Mendesain jaringan stasiun pemotretan perlu memperhatikan beberapa hal penting diantaranya jarak maksimum kamera terhadap objek, jumlah dan distribusi titik-titik target, diam target, dan sudut pengambilan (A. Shirkhani Saadatseresht, 2006).

Tujuan dari uji akurasi pada titik target koordinat yaitu untuk mengetahui tingkat perbedaan ketelitian koordinat dari konfigurasi jaringan pemotretan konvergen dan normal menggunakan kamera *DSLR* dengan melakukan uji akurasi terhadap hasil foto tersebut. Hasil pengukuran koordinat dari konfigurasi jaringan pemotretan konvergen dan normal kemudian dibandingkan dengan hasil data jarak yang diperoleh dari pengukuran *Electronic Total Station* (ETS). Data jarak dari ETS dijadikan sebagai data acuan yang diasumsikan sebagai data yang dianggap benar. Maka pada penelitian ini nantinya dapat membuktikan hasil uji akurasi koordinat dari teknik konfigurasi jaringan pemotretan konvergen dan normal dengan menggunakan kamera *DSLR* sehingga dapat dijadikan sebagai referensi untuk kegiatan pemetaan suatu objek.

METODE

Lokasi Penelitian :

Lokasi penelitian terletak di Desa Pandansari, Ngantang, Kabupaten Malang Jawa timur. Secara geografis Desa Pandansari berada pada koordinat 7 51'57.58" LS dan 112 21'39.68" BT.

Pada penelitian ini objek yang digunakan yaitu Jembatan Kali Sambong dapat dilihat pada Gambar 1. Jembatan tersebut menghubungkan Dusun Munjung, Wonorejo, Sambirejo, Klangon, dan Sedawun. Jembatan ke arah barat menuju desa Pandasari (Bendungan Selorejo), sedangkan jembatan ke arah timur menuju dusun Munjung dan wilayah sekitarnya.



Gambar 1. Lokasi penelitian objek jembatan

Alat dan Bahan :

Alat :

1. Satu unit laptop dengan spesifikasi i5
2. Kamera *DSLR*
3. *ETS (Electronic Total Station)*

Bahan :

1. Data Foto hasil pemotretan menggunakan *DSLR*
2. Data jarak pengukuran *ETS*
3. Data jarak antar titik target koordinat
4. Titik target koordinat yang dipasang pada objek jembatan dengan dimensi 3 x 3 dan diameter tengah 1,5 cm

Dasar Teori :

1. Fotogrametri Jarak Dekat

Pada umumnya fotogrametri jarak dekat digunakan untuk foto terestrial yang mempunyai jarak objek sampai dengan 100 m (Atkinson 1996). Memiliki beberapa langkah utama pada proses fotogrametri, yaitu pemasangan titik kontrol sebagai koordinat referensi, perencanaan dan pelaksanaan pemotretan, pemrosesan foto, dan pendefinisian titik koordinat menggunakan foto (Hilton 1985 dalam ASCE 2003). Terdapat 3 (tiga) hal utama yang perlu dipertimbangkan untuk dapat memperoleh akurasi yang tinggi, data yang akurat, dan foto yang berkualitas pada metode fotogrametri jarak dekat. Adapun tiga hal tersebut sebagai berikut :

- a. *Field of view* merupakan sudut yang terbentuk dari lensa kamera untuk mengetahui seberapa luas cakupan yang terekam kamera yang ditentukan dari panjang fokus lensa dan ukuran format. Kamera yang mempunyai panjang fokus kecil dan format yang besar memiliki nilai *field of view* besar sehingga cakupan area luas, tetapi cenderung kurang akurat (Teo, 2015).
- b. Focusing merupakan salah satu pertimbangan fotografi dalam menentukan seberapa tajam foto yang dihasilkan. Ketajaman foto dipengaruhi oleh panjang fokus lensa, ukuran format, jarak dari kamera objek dan jumlah lensa.
- c. Pencahayaan, sangat diperlukan untuk mengatur terang gelapnya target (titik reflektif target) dan background di belakangnya. Pengaturan pencahayaan tergantung pada jarak dari kamera-target dan ukuran target.

2. Konfigurasi Jaringan Pemotretan

Konfigurasi jaring pemotretan juga disebut sebagai metode pengambilan foto / gambar dengan berbagai posisi kamera dan posisi objek sebagai pusat. Konfigurasi jaring pemotretan terdapat dua metode yaitu konfigurasi kamera konvergen dan konfigurasi kamera paralel/normal. Menurut Luhman dkk, 2006 dalam Ryadi, 2017 teknik pemotretan yang dapat

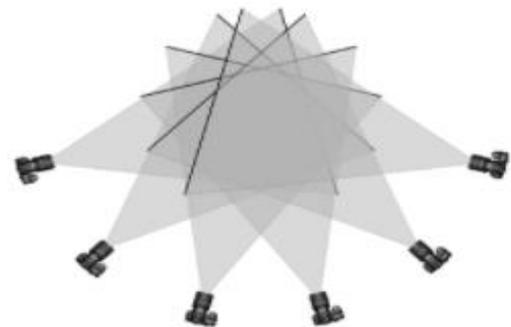
digunakan dalam pemetaan fotogrametri jarak dekat terdapat tiga cara yaitu pemotretan paralel, pemotretan secara konvergen dan pemotretan secara divergen. Pemotretan secara divergen yaitu pemotretan dengan posisi kamera berdiri di satu tempat, yang kemudian kamera diputar ke segala arah untuk mengakuisisi foto.

a. Konfigurasi Kamera Konvergen

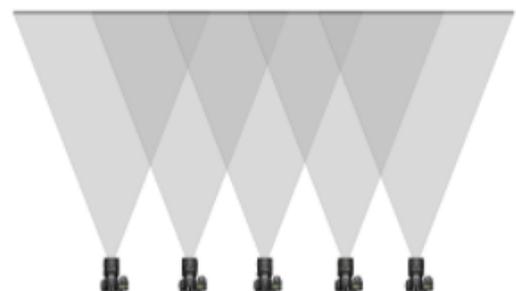
Menurut Ryadi, 2017 Pemotretan secara konvergen yaitu pemotretan dengan posisi objek sebagai pusat dan kamera memotret mengelilingi objek. Pada teknik foto jarak dekat kualitas proses penentuan koordinat dapat ditingkatkan dengan cara melakukan pembidikan ke objek secara konvergen. Hal tersebut disebabkan karena konfigurasi kamera konvergen menghasilkan perbandingan base dan *height/distance* yang baik (Amiranti, 2016).

b. Konfigurasi Kamera Normal / Paralel

Konfigurasi pemotretan paralel merupakan pemotretan secara tegak lurus terhadap objek (Ryadi, 2017). Konfigurasi kamera paralel menghasilkan foto yang memiliki kemiripan orientasi. Adanya kemiripan orientasi antar foto, membuat proses matching foto akan berhasil. Keberhasilan proses matching foto disebabkan oleh keberhasilan proses *matching* antar *feature* pada setiap area yang bertampalan (Amiranti, 2016).



Gambar 2. Pemotretan Konvergen
(Sumber : James Dietrich, 2014)



Gambar 3. Pemotretan Normal
(Sumber : James Dietrich, 2014)

3. Kamera Non Metrik

Kamera merupakan elemen penting dalam fotogrametri karena kamera digunakan untuk menghasilkan sebagai alat utama dalam pengukuran fotogrametri. Untuk mendapatkan kualitas foto yang bagus dan akurat maka dibutuhkan pula kamera yang mempunyai kualitas dan ketelitian yang tinggi (Wijayanti, 2008).

Kamera non metrik pada umumnya juga memiliki keterbatasan. Keterbatasan utama pada kamera non metrik yaitu ketidakstabilan geometrik dan adanya keterbatasan pada ukuran film. Ketidakstabilan geometrik dipengaruhi karena susunan lensanya yang tidak sempurna, sehingga pengukuran pada fotogrametri menjadi kurang teliti. Sedangkan maksud dari keterbatasan ukuran film yaitu untuk menjangkau area dengan luas dan skala yang sama, penggunaan kamera non metrik membutuhkan jumlah foto lebih banyak dibandingkan dengan melakukan pemotretan menggunakan kamera metrik, sehingga penggunaan jenis kamera juga sangat berpengaruh terhadap hasil yang diperoleh (Kolbl, 1976).

Tabel 1. Tabel Spesifikasi Kamera Non Metrik

Berbagai Fitur	Spesifikasi
Tipe	Nikon D5200
Sensor	CMOS, efektivitas piksel 24 MP
Focal Length	27-82.5mm
Sensor Size	23,5 mm x 15,6 mm
ISO Range	100-6400
Image Size	6000x4000
Format Foto	JPEG, RAW



Gambar 4. Kamera Nikon D5200
 (Sumber : ZonaKamera, 2021)

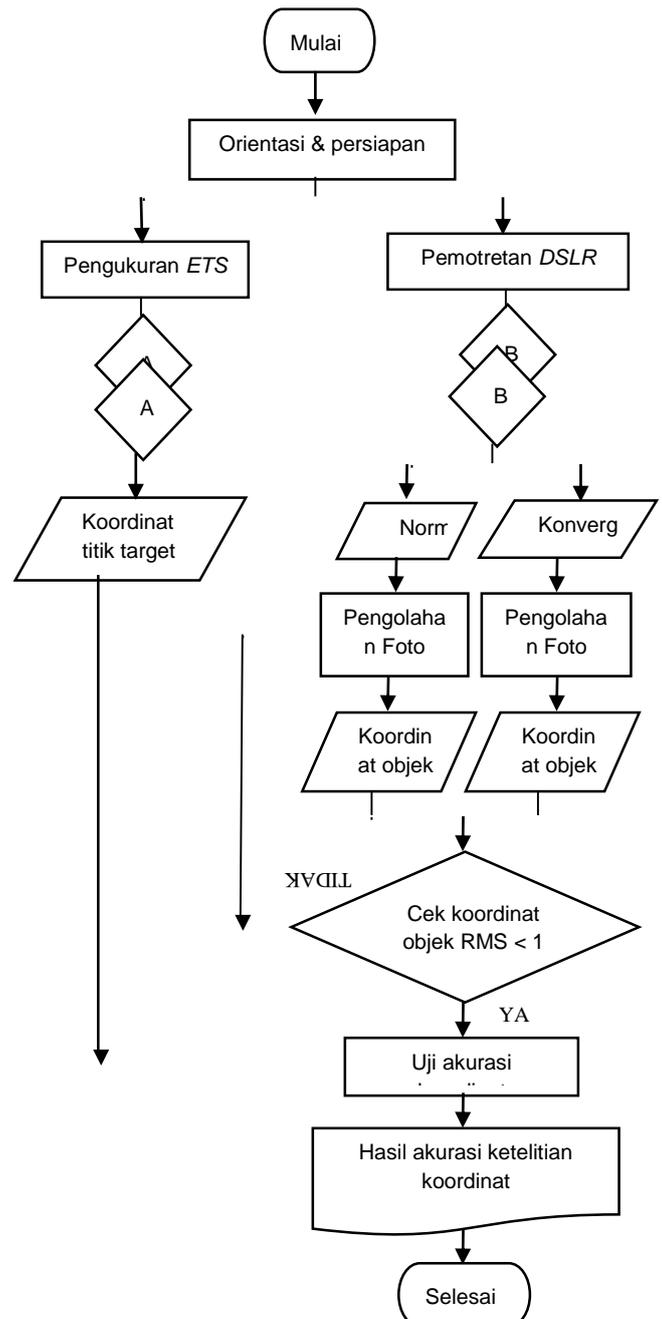
4. Bundle adjustment

Bundle adjustment merupakan proses hitung perataan yang dilakukan secara simultan terhadap semua pengamatan dan param yang terlibat, dari data foto hingga

menghasilkan data koordinat tanah (Atkinson, 1996). Proses evaluasi koordinat target dan parameter eksterior orientasi dari kamera menggunakan kamera didasarkan pada persamaan kolinearitas dengan metode fotogrametri jarak dekat dapat dilihat pada persamaan 1.

$$A_x = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} A_1^T & W \\ A_2^T & W \end{bmatrix} \quad b = N^{-1} \begin{bmatrix} A_1^T & W \\ A_2^T & W \end{bmatrix} \quad (1)$$

Diagram Alir



Gambar 5. Diagram Alir

Fotogrametri jarak dekat merupakan kalibrasi kamera sebagai produk dari hasil pengukuran. Untuk melakukan proses kalibrasi kamera memiliki syarat tertentu yang harus dipenuhi, yang pertama yaitu dalam pengukuran foto harus memiliki keragaman roll (perputaran sudut). Artinya, dalam pengukuran foto harus ada beberapa foto yang direkam secara horizontal dan beberapa foto yang vertikal. Syarat kedua adalah pengukuran foto dalam jumlah minimum dari lokasi yang berbeda. Misalkan enam foto jika objek 2D atau empat foto jika objek 3D dan foto-foto harus diambil minimal dari tiga lokasi yang berbeda. Syarat terakhir adalah memiliki jumlah minimum target (titik) yang terdistribusi pada setiap foto untuk seluruh pengukuran. Titik pengukuran yang baik, jika didistribusikan secara merata ke seluruh foto.

Kelebihan dari *bundle adjustment* adalah pengaruh distorsi lensa yang secara visual seperti distorsi radial, distorsi tangensial dapat dimodelkan oleh beberapa parameter sederhana. Dengan kata lain, koreksi antara parameter orientasi dalam (IO) dengan parameter-parameter kalibrasi tidaklah signifikan (Tjahjadi et al, 2013).

5. Root Mean Square Error (RMSE)

RMSE adalah suatu nilai perbedaan antara nilai sebenarnya dengan nilai hasil ukuran. Semakin besar nilai RMSE, maka semakin besar pula kesalahan hasil ukuran terhadap kondisi yang sebenarnya. RMSE didapatkan dari proses pembagian antara nilai akar kuadrat total selisih ukuran kuadrat dengan jumlah ukuran yang digunakan (Barus, 2017).

RMSE menurut definisi matematika merupakan simpangan baku, yaitu akar kuadrat dari rata-rata jumlah kuadrat residual. Kesalahan baku didefinisikan sebagai akar dari jumlah kuadrat residual. Rumus RMSE dapat dilihat pada persamaan 2.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

(2)

Keterangan :

- σ: Kesalahan Baku
- x: Nilai Sebenarnya
- x_i: Nilai Hasil Ukuran
- n : Jumlah Pengukuran

Perhitungan nilai RMSE digunakan untuk melakukan pengujian terhadap ketelitian metode pemotretan konvergen dan normal dari kamera DSLR.

Analisis Data

1. Konfigurasi Jaringan Pemotretan

Dalam melakukan perencanaan stasiun kamera pada area jembatan perlu dipertimbangan beberapa hal berikut, khususnya yang terkait dengan perencanaan pemotretan, seperti posisi & orientasi kamera saat pengukuran, arah pemotretan, dan pencahayaan.

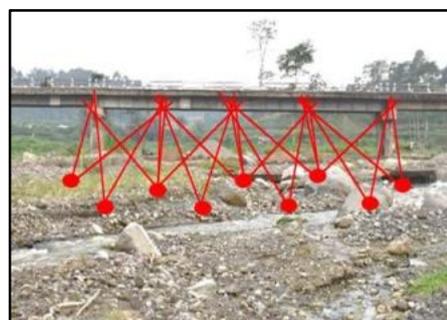
Disamping itu perlu diperhatikan pula, sudut pemotretan pada saat pengambilan gambar, pemotretan harus melingkupi seluruh permukaan objek, pertampalan foto minimal 60% (Cahyono, 2016)



a. Pemotretan Konfigurasi Konvergen

Pengambilan foto dilakukan sebanyak minimal 9 sisi/orientasi secara landscape dan potrait dengan rotasi 90° ke kiri dan rotasi 90° ke kanan dengan besaran sudut pengambilan gambar tiap stasiun pemotretan berkisar antara 900 - 1200 pada saat pengambilan foto.

Gambar 6. Ilustrasi Pemotretan Konvergen
 Posisi kamera dapat berpindah ke kiri, kekanan, maju dan mundur namun tetap berpusat mengerucut kearah objek dengan posisi pembidik setiap pengambilan gambar divariasi dengan posisi berdiri dan jongkok. Jarak stasiun pemotretan terhadap obyek yaitu berkisar ±3 – 8 m (sesuai SOP yang dibuat) dengan melihat posisi kamera agar dapat mencakup obyek penelitian pada saat melakukan pemotretan.



Gambar 7. Kenampakan Foto Konvergen

b. Pemotretan Konfigurasi Normal

Pola pemotretan normal diposisikan dengan stasiun kamera sejajar tegak lurus terhadap objek. Konfigurasi jaringan pemotretan normal menghasilkan foto yang memiliki kesamaan orientasi.

Posisi kamera saat dipotret dapat berpindah ke kiri, kekanan, maju, dan mundur namun tetap berpusat tegak lurus kearah objek dengan posisi pembidik setiap pengambilan gambar divariasi dengan posisi berdiri dan jongkok.

Pada saat pengambilan gambar posisi kamera pada tiap stasiun pemotretan tegak lurus terhadap objek ± 900 dengan tiap pengambilan data foto kamera diposisikan secara *landscape* 00 kemudian dirotasikan 900 kekiri dan kekanan. Jarak posisi kamera terhadap objek bervariasi berkisar $\pm 3 - 8$ m (sesuai SOP yang dibuat).



Gambar 8. Kenampakan Foto Normal



Gambar 9. Kenampakan Foto Normal

1. Pengolahan Data ETS

Hasil pengukuran menggunakan ETS kemudian melalui proses pengolahan data ETS. Data koordinat yang didapatkan dari pengukuran ETS digunakan sebagai acuan untuk menentukan jarak antar titik target.

Tabel 2. Tabel Pengolahan Data ETS

No	Stasiun	Titik	Koordinat (mm)			SX	SY	SZ
			X	Y	Z			
1	1	1	245	1027	-	0.1	0.11	0.07
			6.31	8.7	147.34	36	8	1
2	2	1	246	1040	162.	0.1	0.12	0.06
			2.6	9.60	06	49	2	7
3	3	1	197	1053	-	0.1	0.10	0.06
			3.80	2.60	236.40	09	8	3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
15	0	1	-	1053	-	0.5	1.07	0.59
			583.70	4.01	1371.80	55	1	7

Hasil RMS rata-rata yang diperoleh yaitu 0.0001 m, hasil tersebut membuktikan bahwa akurasi data ETS dapat diasumsikan sebagai data akurat, yang nantinya digunakan sebagai data acuan untuk uji akurasi koordinat.

2. Uji akurasi Koordinat

Dari hasil pengolahan data dilakukan uji akurasi konfigurasi jaringan terhadap hasil pemotretan kamera DSLR. Pengujian data berupa ketelitian koordinat objek dari konfigurasi pemotretan normal dan konvergen. Dari kedua metode tersebut dibandingkan hasil ketelitian koordinat kemudian dengan hasil data jarak pengukuran ETS divalidasi dengan hasil pengolahan data foto. Uji ketelitian data koordinat dilakukan untuk mengetahui tingkat ketelitian data koordinat hasil pengolahan foto terhadap koordinat hasil pengukuran titik target dengan ETS yang dalam hal ini data pengukuran ETS diasumsikan sebagai data acuan yang dianggap benar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Koordinat 3D Titik Target

Koordinat titik target didapatkan dari hasil proses *bundle adjustment* yaitu posisi titik target-reflektif dalam koordinat 3D. Koordinat 3D titik target yang ditampilkan merupakan hasil dari beberapa proses restitusi *bundle adjustment*. Keakurasian koordinat dihitung dari tingkat ketelitian data koordinat hasil pengolahan foto.

Tabel 3. Tabel Hasil Pemotretan Normal

Po int	Koordinat 3D (mm)			Standar Deviasi (mm)		
	X	Y	Z	SX	SY	SZ
1	245	1027	-	0.1	0.11	0.07
	6.31	8.7	147.34	36	8	1
2	246	1040	162.	0.1	0.12	0.06
	2.6	9.60	06	49	2	7
3	197	1053	-	0.1	0.10	0.06
	3.80	2.60	236.40	09	8	3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
15	-	1053	-	0.5	1.07	0.59
0	583.70	4.01	1371.80	55	1	7

15	-	1052	-	0.5	1.02	0.60
1	576. 25	6.65	1824 .22	45	1	9
15	-	1051	-	0.5	1.04	0.62
2	567. 23	1.37	2295 .5	48	2	1
RMS TOTAL				0.30	0.79	0.27
RMS RATA-RATA				0.45		

Pada Tabel 3 menunjukkan koordinat jaring pemotretan normal menggunakan kamera *DSLR* yang tergolong non metrik. Hasil yang diperoleh yaitu nilai RMS total standar deviasi koordinat XYZ bernilai <1 mm.

Tabel 4. Tabel Hasil Pemotretan Konvergen

DSLR KONVERGEN						
Poi nt	Koordinat 3D (mm)			Standar Deviasi (mm)		
	X	Y	Z	SX	SY	SZ
1	2323 .00	9682 .44	- 136. 91	0.06 8	0.05 47	0.04 21
2	2328 .90	9805 .92	155. 09	0.07 9	0.05 8	0.03 7
3	1867 .84	9921 .57	- 220. 9	0.05 7	0.05	0.04 06
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
15 0	- 1464 23	7484 01	104 218	0.11 8	0.08 5	0.07 57
15 1	- 1915 83	7466 80	103 618	0.12 2	0.09 7	0.07 89
15 2	- 2386 55	7439 47	102 843	0.12 4	0.12	0.08 28
RMS TOTAL				0.045	0.05	0.04

RMS RATA-RATA	0.045
----------------------	--------------

Perhitungan akurasi data koordinat ditunjukkan berdasarkan nilai *RMS (Root Mean Square)* hasil pengolahan foto. Nilai standar deviasi didapatkan dari nilai residu pengamatan setelah proses hitung perataan *bundle adjustment*. Akumulasi dari nilai standar deviasi direpresentasikan dengan nilai *Root Mean Square (RMS)*. *RMS* dengan nilai <1 mm menyatakan bahwa titik-titik koordinat yang diperoleh memiliki akurasi yang tinggi (Jensen, 2015). Data koordinat hasil pengolahan foto ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Pada Tabel 4 menunjukkan koordinat jaring pemotretan konvergen menggunakan kamera *DSLR* yang tergolong non metrik. Hasil yang diperoleh yaitu nilai RMS total standar deviasi koordinat XYZ bernilai <1 mm.

1. Uji RMSE Jarak Titik Target Koordinat

Pengukuran jarak titik target dilakukan secara langsung dilapangan dengan menggunakan *Electronic Total Station*. Pengambilan data jarak dilakukan dengan penembakan titik target sebanyak 3 kali. Data tersebut kemudian digunakan untuk uji perbandingan jarak pemotretan konvergen dan normal dengan acuan data *ETS* yang diasumsikan sebagai data sebenarnya.

Tabel 5. Tabel Hasil Uji RMSE Jarak Konvergen

Poi nt	Distance Konvergen		Error
	ETS (m)	DSLR (m)	
6-4	0.92 5	0.923	-0.0016
4-3	0.51 8	0.522	0.0041
3-2	0.49 5	0.494	-0.0007
2-1	0.56 2	0.562	0
7-9	0.50 7	0.5	-0.0069
9-	0.50	0.507	-0.0014
11	9		
11-	0.51		
13	1	0.510	-1E-04

13-15	0.50 3	0.502	-0.0004
RMSE		0.003	

Berdasarkan hasil uji *RMSE* Jarak Titik Target Koordinat dapat dilihat pada tabel 5. Menunjukkan bahwa hasil yang didapatkan $RMSE < 1$ m, yang artinya data tersebut dapat diterima dan menunjukkan bahwa data tersebut memiliki ketelitian akurat.

Tabel 6. Tabel Hasil Uji *RMSE* Jarak Normal

<i>Distance Normal</i>		<i>Error</i>	
Poi nt	<i>ETS</i> (m)	<i>DSLR</i> (m)	<i>DSLR</i> (m)
6-4	0.92 5	0.92	-0.0016
4-3	0.51 8	0.52	0.0041
3-2	0.49 5	0.494	-0.0007
2-1	0.56 2	0.561	0
7-9	0.50 7	0.5	-0.0069
9-11	0.50 9	0.507	-0.0014
11-13	0.51 1	0.511	-1E-04
13-15	0.50 3	0.502	-0.0004
RMSE		0.0028	

Hasil perbandingan jarak titik target membuktikan bahwa teknik konfigurasi pemotretan normal lebih baik digunakan daripada hasil konfigurasi pemotretan konvergen hal ini dibuktikan dari hasil nilai *RMSE* yang dihasilkan. Namun hasil *RMSE* untuk masing-masing konfigurasi pemotretan tidak memiliki perbedaan yang signifikan, terlihat selisih antar konfigurasi pemotretan menggunakan kamera *DSLR* 0.002 m.

Tabel 7. Tabel Perbandingan Konfigurasi Pemotretan

Aspek	Konfigurasi Konvergen	Konfigurasi Normal
	<i>DSLR</i>	<i>DSLR</i>
Koordinat 3D <i>retro-reflektif</i>	rata-rata <i>RMS</i> 0.045 mm dimana nilai <i>RMS</i> <1. artinya memiliki ketelitian yang akurat	rata-rata <i>RMS</i> 0.45 mm dimana nilai <i>RMS</i> <1 artinya memiliki ketelitian yang akurat
Jarak <i>retro-reflektif</i>	memiliki ketelitian lebih besar dari normal yaitu 0.003 m	lebih akurat dengan memiliki nilai <i>RMSE</i> terkecil yaitu 0.0028 m

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji akurasi koordinat dari konfigurasi jaringan pemotretan normal dan konvergen menggunakan kamera *DSLR* yang tergolong kamera metrik dengan acuan hasil pengukuran *Electronic Total Station* yaitu nilai akurasi dari konfigurasi normal sebesar 0.0028 m dan nilai akurasi dari konfigurasi konvergen sebesar 0.003 m. Hasil tersebut membuktikan bahwa kualitas akurasi konfigurasi pemotretan normal dan konvergen tidak memiliki selisih perbedaan yang signifikan. Kamera non metrik dapat digunakan pada pekerjaan pemetaan suatu objek dengan melihat hasil uji akurasi koordinat dari konfigurasi pemotretan yang menghasilkan ketelitian akurat yaitu nilai *RMSE* < 1 m.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima Kasih ditujukan kepada pihak-pihak yang membantu penulis dalam melakukan penelitian yaitu Kepala Desa Pandansari, Ngantang, Kabupaten Malang yang telah memberikan ijin sebagai lokasi pelaksanaan kegiatan penelitian dan Program Studi Teknik Geodesi ITN Malang.

DAFTAR PUSTAKA

- A Shirkhani, DM Varshosaz, M Saadatesresht. (2006). Department of Photogrammetry and Remote Sensing. Tehran: KN Toosi University
- Amiranti, A. Y. 2016. Pembuatan Model Tiga Dimensi Menggunakan Foto Jarak Dekat dengan Kombinasi Metode Interaktif dan Otomatis. Skripsi. Program

- Studi Teknik Geodesi. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Atkinson.. 1996. Close Range Photogrametry and Machine Vision. Scotland. UK: Whittles Publishing
- Avicenna. M., Cahyono. A. B., & Hidayat. H. 2018. Analisa Kalibrasi Kamera Sony Exmor pada Nilai Orientasi Param Interior untuk Keperluan Pemetaan (FUFK).Jurnal Teknik ITS. 7(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i1.28557>
- Hanifa, R. 2007. Studi Penggunaan Kamera Digital Low-Cost Non-Metrik AutoFocus untuk Pemantauan Deformasi. Tesis. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika. Institut Teknologi Bandung.
- Harintaka.. 2012. Fotogrametri Non Topografi. Jurusan Teknik Geodesi. Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Hidayat. Husnul.. Cahyono. A. B., Avicenna. Moh. 2017. Metode Kalibrasi In-Flight Kamera Digital Non-Metrik Untuk Keperluan Close- Range Photogrammetry. Ftslk-its. D. T. G.. & Sukolilo. K. I. T. S. (n.d.). 163–167.
- Ryadi. Michael.. dkk. 2018. Analisis Efektivitas Ruang Kuliah Di Kampus Teknik Geodesi Universitas Diponegoro Berdasarkan Param Kapasitas. Suara Dan Pencahayaan Ruang.
- Tian, W., Zhao, Z., Hu, C., Wang, J., & Zeng, T. (2019). GB-InSAR-based DEM generation method and precision analysis. Remote Sensing, 11(9). <https://doi.org/10.3390/rs11090997>
- Tjahjadi. M. E., Purwanto H. Sai S. S. 2013. Studi Kelayakan Pemetaan Kadastral Teliti Dari Pemotretan Udara Dengan Wahana Nirawak. FIT ISI.
- Wolf. P. R., Dewitt B. A., & Wilkinson B. E. 2014. Element of Photogrammetry with Applications in GIS. 4th edition. McGraw-Hill Book Company. ISBN: 978-0-07-176111-6.