ANALISIS PENGARUH RETRO TARGET TERHADAP HASIL PEMODELAN PADA KAMERA DSLR (Studi Kasus: Jembatan Selorejo, Pandansari, Kabupaten Malang)

Rifqi Miftakhul Ma'ruf^{1),} Martinus Edwin Tjahjadi²⁾, Ketut Tomy Suhari³⁾

Jurusan Teknik Geodesi S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura-gura No. 2 Lowokwaru, Kecamatan Sumbersari, Kota Malang – rifqimiftakhulwork@gmail.com

KATA KUNCI: Kamera Non-Metrik, Kalibrasi Kamera, Retro Target, RMSE.

ABSTRAK:

Penggunaan kamera non-metrik untuk kegiatan fotogrametri sebenarnya memiliki kualitas geometri yang kurang baik, sehingga untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan kalibrasi kamera. Pada beberapa software kalibrasi kamera dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan retro target dan ada juga yang tidak memerlukan retro target. Penelitian ini dilakukan pada dua sisi sebuah jembatan dengan tujuan untuk menganalisis seberapa jauh pengaruh penggunaan retro target pada hasil kalibrasi kamera dan ketelitian yang dihasilkan dengan metode yang digunakan adalah self calibration. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penggunaan retro target tidak berpengaruh signifikan pada hasil kalibrasi kamera, dimana pengolahan dengan bantuan retro target menghasilkan nilai parameter K1, P1, dan P2 yang lebih baik sedangkan pengolahan tanpa retro target menghasilkan nilai parameter Xp, Yp, K2 dan K3 yang lebih baik akan tetapi perbedaan nilai semua parameter tersebut sangat kecil. Hasil nilai RMSE berdasarkan koordinat retro target menunjukkan penggunaan retro target menghasilkan nilai RMSE pada sisi utara sebesar 0.0012 m dan sisi selatan sebesar 0.0024 m sedangkan pengolahan tanpa retro target menghasilkan nilai RMSE pada sisi utara sebesar 0.0013 m dan sisi selatan sebesar 0.0084 m.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Fotogrametri jarak dekat adalah salah satu disiplin ilmu fotogrametri dengan kamera yang terletak di permukaan bumi berdasarkan jarak antara kamera dengan objek pemotretan hingga mencapai 300 meter (Wolf dkk., 2013). Dalam kegiatan fotogrametri jenis kamera yang digunakan ada kamera metrik dan kamera non metrik. Kamera non metrik dapat digunakan untuk metode fotogrametri jarak dekat, terutama saat membuat model 3D (Pal Singh dkk., 2013). Pemodelan tiga dimensi bertujuan untuk menemukan cara untuk menghasilkan model digital objek permukaan yang paling sesuai dengan bentuk aslinya dalam sistem koordinat arbitrer (Tjahjadi, 2017).

Kamera non metrik sebenarnya tidak didesain untuk keperluan fotogrametri karena kualitas geometrisnya yang kurang baik sehingga mengakibatkan kurang akuratnya penentuan posisi foto yang dihasilkan (Afriyanti, 2005; Putera & Hariyanto, 2013). Untuk mengatasi situasi tersebut perlu dilakukan kalibrasi kamera, yang merupakan kegiatan untuk memastikan hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh alat ukur dengan nilai sebenarnya dari besaran yang diukur (Hanifa, 2007). Proses kalibrasi kamera dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu Laboratory Calibration, In Field Calibration, dan Self Calibration (Stensaas, 2007; Ikawati, 2012).

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah self calibration, karena dapat digunakan untuk kamera yang tidak stabil akibat parameter orientasi dalam yang dihitung sesuai dengan kondisi saat pemotretan (Kusudarma, 2008). Pada beberapa software metode self calibration dapat dilakukan dengan menggunakan retro target dan terdapat juga software yang bisa melakukan perhitungan kalibrasi kamera tanpa menggunakan retro target. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa sejauh mana pengaruh penggunaan retro target dengan membandingkan hasil pengolahan kalibrasi kamera menggunakan dan tanpa menggunakan retro target.

1.2. Rumusan Masalah

Penjabaran permasalahan yang sudah dipaparkan pada latar belakang akan diringkas seperti berikut ini:

1). Seberapa jauh pengaruh penggunaan retro target terhadap hasil kalibrasi kamera non metrik?

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

- **1.3.1. Tujuan Penelitian:** Tujuan dari pelaksanaan penelitian pada kali ini, yaitu 1). Menganalisis ketelitian parameter kalibrasi kamera pengolahan dengan bantuan retro target dan tanpa retro target, 2). Menganalisis ketelitian geometrik dari tiap pengolahan dengan retro target dan tanpa retro target
- **1.3.2. Manfaat Penelitian:** Penelitian ini memberikan informasi mengenai seberapa jauh pengaruh penggunaan retro target terhadap hasil kalibrasi kamera.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Pemotretan Foto Udara

Pada penelitian ini pengambilan data foto menggunakan metode fotogrametri jarak dekat dengan kamera digital single-lens reflex yang memiliki sensor full frame dengan resolusi 24 MP seperti yang terlihat pada gambar 1. Beberapa gambar yang tumpang tindih dari perspektif yang berbeda memberikan pengukuran yang dapat digunakan untuk membuat model objek 3D yang akurat (Yakar dkk., 2010).

Berdasarkan sumbu kamera, foto udara pada umumnya dapat diklasifikasikan menjadi foto udara vertikal dan foto udara miring (Paine & Kiser 2012). Foto udara tegak atau vertikal dilakukan dengan sumbu kamera yang diarahkan secara vertikal yang sejajar dengan bidang datum, sedangkan foto udara miring dilakukan dengan memiringkan sumbu kamera terhadap sumbu

vertikal yang akan diilustrasikan pada Gambar 1 (Wolf, Dewitt & Wilkinson 2014).



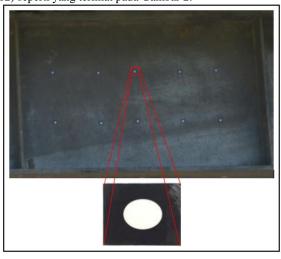
Gambar 1. Pengambilan Foto

Konfigurasi kamera konvergen merupakan metode pengambilan gambar di sekitar objek karena konfigurasi kamera konvergen membentuk rasio dasar dan tinggi atau jarak yang baik (Amiranti, 2016). Metode konvergen dilakukan dengan mengambil foto dari beberapa variasi sisi, jarak, ketinggian dan setting kamera yang berbeda yang disesuaikan dengan kondisi dan situasi lapangan. Teknik ini sangat berguna terutama ketika sulit menjangkau objek yang akan diukur (Handayani dkk., 2015).

Keakuratan fotografi jarak dekat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain rasio dasar atau tinggi, jumlah foto, jumlah titik kontrol, jumlah titik yang diukur dalam foto, dan parameter orientasi internal dan eksternal (Harintaka, 2012). Pemrosesan foto sebaiknya menggunakan target buatan yang kemungkinan besar merupakan target retrorefleksi melingkar. Terlepas dari jenis targetnya, tujuannya adalah secara otomatis untuk mendeteksi, mengenali, mengidentifikasi dan mengukur tempat tujuan (Shortis & Seager, 2014). Hasil yang diperoleh merupakan beberapa foto yang memiliki format JPG.

2.2. Pengukuran Retro Target

Selama pengambilan gambar, permukaan benda harus diberi tanda (target) pada daerah-daerah yang dianggap dapat mewakili bentuk dari permukaan tersebut. Dengan memperhatikan jumlah foto, jumlah titik ini juga dapat berjumlah sangat banyak. Oleh karena itu, digunakan sebuah objek dengan pola yang telah dibuat sedemikian rupa yang diberi nama retro target (Danurwendi, 2012) seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Retro Target

Pengukuran retro target dilakukan menggunakan Kamera non metrik untuk mendapatkan foto dengan retro target yang jelas dan tajam serta Total Station untuk mendapatkan koordinat retro target yang mana koordinat retro target ini digunakan sebagai pembanding yang dianggap benar untuk komparasi dari hasil pengolahan data foto.

2.3. Kalibrasi Kamera

Kalibrasi kamera adalah prosedur untuk menentukan parameter bagian dalam kamera, yang kemudian digunakan sebagai masukan untuk orientasi bagian dalam (Putera & Hariyanto, 2013). Terdapat beberapa metode yang dapat dilakukan untuk kalibrasi diantaranya yaitu laboratory calibration, on-the-job calibration dan self-calibration (Atkinson, 1987). Metode laboratory calibration dilakukan secara terpisah dengan pemotretan objek dan dilakukan di laboratorium. Metode ini sangat tepat digunakan untuk jenis kamera metrik. Penentuan parameter kalibrasi kamera yang dilakukan bertepatan dengan proses pemotretan objek disebut metode On-the-job calibration. Sedangkan pada metode self-calibration dilakukan dengan cara melakukan pengukuran titik-titik yang terdapat pada suatu objek pengamatan yang mana akan digunakan sebagai acuan dalam menentukan titik objek dan juga untuk penentuan parameter kalibrasi kamera.

Pada proses pemotretan pasti terjadi kesalahan yang dikarenakan oleh lensa kamera yang tidak sempurna. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan pengkalibrasian kamera sehingga dapat menentukan seberapa jauh penyimpangan-penyimpangan yang terjadi. Kalibrasi kamera merupakan proses yang dilakukan agar mendapatkan parameter intrinsik dan parameter ekstrinsik. Geometri internal pada kamera dan parameter optik seperti focal length, koefisien distorsi lensa, factor skala yang tidak bisa diukur dan koordinat origin foto termasuk parameter intrinsik.

Metode pengkalibrasian kamera yang dilakukan pada penelitian ini yaitu menggunakan metode self calibrating bundle adjustment yang berdasarkan pada persamaan kolinear (Fraser dkk., 1995):

$$x-x_0+\Delta x=-c R_1/R_3$$
(2.3)

$$y-y_0+\Delta y=-c R_2/R_3$$
(2.4)

Dimana:

$$R_3 = m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)$$
....(2.5)

$$R_2 = m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L)....(2.6)$$

Dimana:

$$\Delta x=-x_0-x/c \Delta c+x_1^2 k_1+x_1^4 k_2+x_1^6 k_3+(r^2+2x_1^2)$$

 $p_1+2p_2 x_1^2+b_1 x_1^2+b_2 y_1^2+\dots(2.8)$

$$\Delta y=-y_0-y/c$$
 $\Delta c+y_0^2$ $k_1+y_0^4$ $k_2+y_0^6$ $k_3+[2p]_1$ $x_0^2+(r^2+2y_0^2)p_2$(2.9)

Dimana

$$r=\sqrt{(x^{-2}+y^{2})....(2.10)}$$

$$x = x-x_0$$
 (2.11)

Persamaan diatas menjelaskan tentang transformasi perspektif antara koordinat obyek spasial (titik obyek'X,'Y,'Z dan perspektif pusat X0,'Y0,'Z0 dengan matrik rotasi R) dan image space (image point x,y). Pada persamaan yang telah dilinerisasikan, persamaan observasi untuk bundle adjustment dengan persamaan kuadrat terkecil telah terbentuk. Sistem persamaan matrik yang terbentuk adalah seperti pada persamaan kedua, dengan ditambahkan fungsi pembatas yang dapat digunakan untuk menentukan hubungan geometric antara parameter-parameter dari metode bundle adjustment:

Disini, x1 adalah parameter sensor EO (exterior orientation), x2 adalah koordinat titik obyek, x3 adalah parameter self calibration. Matrik Ai adalah susunan matrik konfigurasi yang sesuai sedangkan matrik w adalah vektor perbedaan dari koordinat image

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Perhitungan Kalibrasi Kamera

Dalam penelitian ini perhitungan kalibrasi kamera yang dilakukan pada objek jembatan dibagi menjadi dua bagian yaitu sisi utara dan selatan jembatan dikarenakan objek jembatan yang cukup besar dan agar kualitas foto lebih tajam terutama pada retronya, perhitungan kalibrasi kamera tanpa target retro diproses dengan menggunakan software Agisoft PhotoScan Trial Version (https://www.agisoft.com/downloads/installer), sedangkan dalam menghitung kalibrasi kamera menggunakan target retro diproses dengan menggunakan software Australis Trial Version (https://www.photometrix.com.au/australis).

Dua perhitungan kalibrasi kamera dengan dan tanpa menggunakan target retro yang telah dilakukan memiliki hasil yang berbeda. Jembatan sisi utara ditampilkan pada Gambar 3 dengan hasil pengolahan tertera pada Tabel 1 dan sisi selatan ditunjukkan pada Gambar 4 dengan hasil pengolahan tertera pada Tabel 2.



Gambar 3. Sisi Utara Jembatan



Gambar 4. Sisi Selatan Jembatan

Tabel 1. Parameter Kalibrasi Kamera Sisi Utara

Parameter	Sisi Utara (mm)		
	Australis	Agisoft	
С	34.4323	35.4651	
XP	-0.0441	0.0049	
YP	0.0530	0.0038	
K1	0.000012665	0.000022864	
K2	0.00000003166	-0.00000003018	
К3	0.000000002080	0.00000000018	
P1	-0.0000048672	-0.0000166331	
P2	0.000005698	0.000011087	

Tabel 2. Parameter Kalibrasi Kamera Sisi Selatan

Tuber 2. I drameter Ramorasi Ramera bisi belatan					
Parameter	Sisi Selatan (mm)				
	Australis	Agisoft			
С	34.4555	35.5089			
XP	0.0369	0.0205			
YP	0.0133	-0.0266			
K1	-0.000012933	0.000021206			
K2	0.00000096362	-0.00000001942			
К3	-0.000000014097	0.000000000041			
P1	-0.0000144554	-0.0000205061			
P2	0.000015245	0.000021138			

Berdasarkan Tabel 1 dan 2, memperlihatkan nilai panjang fokus (c) pada kedua sisi memliki selisih yang hampir sama dengan nilai sebenarnya yaitu 35 mm. Nilai titik origin Xp pada kedua sisi pengolahan tanpa retro target memiliki hasil yang lebih baik, sedangkan nilai titik origin Yp pada sisi utara pengolahan tanpa retro target memiliki hasil yang lebih baik, berbanding terbalik

dengan sisi selatan dimana hasil pengolahan dengan retro target memiliki hasil yang lebih baik.

Distorsi radial'(K1,'K2,'K3) merepresentasikan pergeseran linier titik yang terjadi pada foto terhadap arah radial pada titik utama posisi idealnya sehingga foto yang dihasilkan tidak benarbenar berbentuk seperti yang seharusnya. Nilai parameter K1 pengolahan dengan retro target menghasilkan nilai yang lebih baik pada kedua sisi, sedangkan untuk parameter K2 dan K3 pengolahan tanpa retro target menghasilkan nilai yang lebih baik pada kedua sisi. Distorsi tangensial (P1, dan P2) yang mewakili nilai kesalahan dari efek perakitan lensa (centering), nilai parameter P1 dan P2 ini pada kedua sisi menghasilkan nilai yang lebih baik pada pengolahan dengan retro target.

3.2. Analisis Perbandingan Jarak

Nilai RMSE dapat digunakan untuk mengetahui ketelitian dari hasil pengolahan. Nilai RMSE didapatkan dengan melakukan perbandingan jarak antar retro target pada tiap metode pengolahan terhadap jarak sebenarnya yang diukur menggunakan Total Station. Tabel 3 dan.4 menampilkan perbandingan jarak pada Total Station dengan jarak antar retro target pada tiap pengolahan:.

Tabel 3. RMSE Retro Target Sisi Utara

No	Pengukuran Jarak Sisi Utara (m)				
	TS	Australis	d	Agisoft	d
1	0.5012	0.5033	-0.0021	0.5013	-0.0001
2	0.5051	0.5048	0.0003	0.5063	-0.0013
3	0.5037	0.5045	-0.0007	0.5050	-0.0013
4	0.5048	0.5044	0.0004	0.5050	-0.0002
5	0.5029	0.5034	-0.0005	0.5037	-0.0008
6	0.5029	0.5023	0.0006	0.5013	0.0016
7	0.5063	0.5077	-0.0014	0.5083	-0.0021
8	0.5054	0.5040	0.0015	0.5047	0.0008
Nilai RMSE			0.0012		0.0013

Tabel 4. RMSE Retro Target Sisi Selatan

No	Pengukuran Jarak Sisi Selatan (m)				
	TS	Australis	d	Agisoft	d
1	0.5111	0.5076	0.0035	0.4963	0.0147
2	0.4997	0.4999	-0.0001	0.4977	0.0021
3	0.5066	0.5041	0.0025	0.5123	-0.0057
4	0.5056	0.5057	-0.0001	0.5043	0.0012
5	0.5052	0.5057	-0.0004	0.4987	0.0066
6	0.5037	0.5027	0.0010	0.4967	0.0071
7	0.5037	0.5047	-0.0009	0.4970	0.0067
8	0.5044	0.5001	0.0043	0.4947	0.0097
Nilai RMSE 0.0024 0.0084					

Berdasarkan tabel 3 dan 4, memperlihatkan bahwa pengolahan dengan retro target memiliki ketelitian geometri yang lebih baik pada kedua sisi dengan nilai RMSE 0.0012 m untuk sisi utara dan 0.0024 m untuk sisi selatan, dimana nilai RMSE pada sisi utara memiliki selisih yang tipis yaitu 0.0001 m sedangkan pada sisi selatan memiliki selisih 0.006 m.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan seberapa jauh pengaruh penggunaan retro target terhadap perhitungan kalibrasi kamera. Kesimpulan yang didapat yaitu:

- 1. Penggunaan retro target pada perhitungan kalibrasi kamera memiliki pengaruh yang tidak terlalu signifikan dimana pengolahan dengan dan tanpa retro target memiliki keunggulan masing-masing pada parameter kalibrasi. Pada pengolahan dengan retro target memiliki nilai kalibrasi yang lebih baik pada parameter K1, P1, dan P2. Sedangkan pada pengolahan tanpa retro memiliki nilai kalibrasi yang lebih baik pada parameter Xp, Yp, K2, dan K3. Pengolahan yang dilakukan menghasilkan nilai parameter c yang berbeda beda akan tetapi memiliki nilai penyimpangan yang hampir sama pada sisi utara maupun selatan.
- 2. Dari hasil pengolahan menggunakan Australis didapatkan nilai RMSE pada sisi utara sebesar 0.0012 m dan sisi selatan sebesar 0.0024 m, sedangkan nilai RMSE pada pengolahan menggunakan Agisoft pada sisi utara sebesar 0.0013 m dan sisi selatan sebesar 0.0084 m.
- 3. Penggunaan retro target tidak berpengaruh terlalu banyak pada hasil kalibrasi kamera akan tetapi terbukti penggunaan retro target dapat meningkatkan ketelitian geometri, dimana dengan menggunakan retro target nilai RMSE yang didapatkan jadi lebih baik...

5. SARAN

Beberapa saran yang bisa diberikan oleh penulis untuk penelitian lain kedepannya:

1. Bagi pelaku fotogrametri sebaiknya menggunakan perhitungan kalibrasi tanpa retro target dengan bantuan software Agisoft karena hasil kalibrasi parameternya tidak berbeda jauh dan proses dilakukan oleh komputer sehingga lebih menghemat waktu.

- 2. Pada saat proses measuring atau penandaan titik usahakan dilakukan dengan teliti pada tengah tengah target agar mendapatkan hasil yang maksimal.
- 3. Menggunakan alat bantuan berupa tripod agar gambar yang diambil lebih stabil.
- 4. Ukuran retro target harus disesuaikan dengan jarak pemotretan, sehingga dalam pengolahan data, retro target dapat teridentifikasi dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Afriyanti, R. (2005). Pembuatan Peta Foto Dengan Metode Mosaik Semi Terkontrol Menggunakan Foto Udara Format Kecil Non Metrik. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Atkinson. (1987). Development in Close Range Photogrametri-1. London: Applied Science Publisher.

Atkinson, K. B. (1996). Close Range Photogrammetry and Machine Vision. Scotland: Whittles Publishing.

Aufar, M. B. (2017). KAJIAN PERBANDINGAN KETELITIAN PARAMETER KALIBRASI KAMERA SOFTWARE FOTOGAMETRI DAN COMPUTER VISION. Malang: Institut Teknologi Nasional Malang.

Danurwendi, C. (2012). Pemanfaatan Fotogrametri Rentang Dekat Dalam bidang Arsitektur Lansekap. Bandung: ITB.

Fraser, C. S., Shortis, M. R., & Ganci, G. (1995). Multi-sensor system self-calibration. Parkville: Department of Geomatics, University of Melbourne.

Hanifa, N. R. (2007). Studi Penggunaan Kamera Digital Low-Cost Non-Metrik Auto-Focus Untuk Pemantauan Deformasi. Bandung: Departemen Teknik Geodesi ITB.

Hugemann, W. (2010). Correcting lens distortions in digital photographs. Ingenieurburo Morawski.

Ikawati, N. (2012). Analisis Ketelitian Pergeseran Titik Target Terhadap Variasi Resolusi Foto Pada Teknik Fotogrametri Jarak Dekat. Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

Kusudarma, A. (2008). Aplikasi Close Range Photogrammetry Dalam Pemetaan Bangun Rekayasa Dengan Kamera Dijital Non Metrik Terkalibrasi. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Li, L., Lu, Y., Cai, Y., & Li, P. (2020). A calibration technique to improve accuracy of the photogrammetrybased deformation measurement method for triaxial testing. Springer.

Michael, E., & Gracie, G. (1981). Analysis Adjustmentof Survey Measurement. New York: Van Nostrand Reinhold Company.

Noviandyka, R. B. (2020). ANALISIS HASIL PEMODELAN 3D PADA FITUR KAMERA HANDPHONE I-PHONE 7 PLUS DAN SAMSUNG GALAXY S9 PLUS. Malang: Institut Teknologi Nasional Malang.

Pal Singh, S., Jain, K., & Mandla, V. R. (2013). Virtual 3D Campus Modeling by Using Close Range Photogrammetry. American Journal of Civil Engineering and Architecture, 1(6), 200-205.

Putera, B. A., & Hariyanto, T. (2013). KALIBRASI KAMERA NON-METRIK DIGITAL DENGAN METODE SELF CALIBRATION. Surabaya: Teknik Geomatika FTSP-ITS, Kampus ITS.

Saputra, I. A. (2016). KAJIAN PENGARUH KALIBRASI KAMERA UNTUK DAERAH KALIBRASI YANG BERTOPOGRAFI DATAR DAN BERGELOMBANG TERHADAP PARAMETER KALIBRASI. Malang: Institut Teknologi Nasional Malang.

Stensaas, G. (2007). US Geological Survey digital aerial mapping camera certification and quality assurance plan for digital imagery. Photogrammetric Week.

Stoyanov, T. (2015). Sensors and Sensing Cameras and Camera Calibration, Stereo and Structured Light. Citeseer.

Tjahjadi, M. E. (2017). Photogrammetric Bagian-Based Least Square Image Matching for Surface Reconstruction. Elektrika, 22-26

Wahab, A. G. (2009). Analisis Geometri Data Objek Tiga Dimensi Menggunakan Fotogrametri Rentang Dekat, Terrestrial Laser Scanning, dan Electronic Total Station (ETS). Bandung: Teknik Geodesi dan Geomatika, ITB.

Wigrata, H. (1986). Kalibrasi Besaran-besaran Panjang Fokus dan Distorsi Lensa pada Kamera Non-Metrik. Bandung: Departemen Teknik Geodesi ITB.

Wolf, P. R. (1983). Elements of Photogrammetry, 2nd edition. USA: McGraw-Hill Book Company.

Wolf, P. R. (1993). Elemen Fotogrametry. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

Wolf, P. R., Dewitt, B. A., & Wilkinson, B. E. (2013). Elements of Photogrammetry with Applications in GIS: 4th Edition. New York: McGraw Hill Professional.

Zhang, Z. (2000). A flexible new technique for camera calibration. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence volume 22v, 1330-1334.