

# **KAJIAN PERBANDINGAN KETELITIAN PARAMETER KALIBRASI SOFTWARE FOTOGAMETRI DAN SOFTWARE COMPUTER VISION**

**Muhammad Billie AUFAR**

Teknik Geodesi S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi  
Nasional Malang

## **ABSTRAK**

Perkembangan minat terhadap penggunaan teknologi fotogrametri juga diiringi dengan perkembangan teknik yang digunakan untuk proses pengolahan data foto, termasuk proses kalibrasi kamera. Terdapat dua teknik yang dapat digunakan yaitu teknik fotogrametri dan teknik *computer vision*. Dalam penelitian ini, akan dibahas bagaimana perhitungan kalibrasi kamera dengan menggunakan teknik fotogrametri dan *computer vision*. Sehingga nantinya dapat diketahui manakah teknik yang lebih baik.

Dalam penelitian kali ini, perhitungan kalibrasi kamera dengan teknik fotogrametri akan dilakukan menggunakan *software Australis*. Sedangkan untuk *computer vision* akan menggunakan *software Agisoft Photoscan*.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah perhitungan kalibrasi kamera dengan menggunakan teknik fotogrametri lebih baik untuk dilakukan. Karena hasil yang diperoleh dari perhitungan dengan teknik fotogrametri lebih teliti yaitu dengan nilai nilai K1 sebesar  $3.14954 \times 10^{-5}$ , nilai K2 sebesar  $-5.57147 \times 10^{-7}$ , K3 sebesar  $4.25807 \times 10^{-9}$ , P1 sebesar  $-1.11098 \times 10^{-4}$ , dan P2 sebesar  $-5.06575 \times 10^{-5}$ . Dibandingkan dengan perhitungan dengan *computer vision* yang menghasilkan nilai sebesar nilai K1 sebesar  $-0.0267231$ , K2 sebesar  $0.327675$ , K3 sebesar  $-3.67586$ , P1 sebesar  $-6.4398 \times 10^{-5}$ , dan P2 sebesar  $0.000114058$ .

*Kata kunci: Computer Vision, Kalibrasi kamera, Teknik Fotogrametri.*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Seiring dengan banyaknya permintaan akan pemetaan suatu wilayah dalam berbagai bidang, maka semakin berkembang pula berbagai macam metode pemetaan. Pemetaan fotogrametri merupakan pekerjaan pembuatan peta menggunakan media foto udara (Suharsana, 1999).

Salah satu teknologi alternatif pengumpulan data spasial dengan menggunakan wahana pesawat tanpa awak atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). UAV merupakan wahana udara tak berawak yang salah satu pengoperasiannya dengan cara dikendalikan sendiri dari jarak jauh menggunakan remote control. Semakin besarnya minat terhadap teknologi fotogrametri, seiring pula dengan semakin berkembangnya teknik yang digunakan untuk pengolahan data foto, termasuk proses kalibrasi kamera (Wikartika, 2009).

Perkembangan minat terhadap penggunaan teknologi fotogrametri juga diiringi dengan

perkembangan teknik yang digunakan untuk proses pengolahan data foto, termasuk proses kalibrasi kamera. Terdapat dua teknik yang dapat digunakan yaitu teknik fotogrametri dan teknik *computer vision*.

Pada penelitian kali ini akan dibahas, manakah teknik yang lebih baik untuk mengolah data kalibrasi kamera sehingga bisa menjadi referensi kepada pelaku fotogrametri.

### I.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam lingkup penulisan proposal ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perbandingan ketelitian parameter kalibrasi *software* Fotogrametri dan *software Computer Vision*?

### I.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan dan manfaat penelitian ini yaitu sebagai berikut:

## A. Tujuan

1. Mengetahui perbandingan ketelitian parameter kalibrasi *software* Fotogrametri dan *software Computer Vision*.

## B. Manfaat

1. Memberikan referensi tentang teknik kalibrasi kamera untuk pengukuran Fotogrametri

### I.4. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini diperlukan batasan masalah agar penelitian menjadi terarah dan sesuai tujuan. Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Area kalibrasi 1 Kelurahan Tunjungsekar Kecamatan Lowokwaru Kota Malang
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah foto tegak di area kalibrasi 1 Kelurahan Tunjungsekar Kecamatan Lowokwaru Kota

Malang yang menghasilkan

parameter kalibrasi

3. Pemotretan foto udara dengan menggunakan pesawat UAV dengan tipe *fixed wing*.

4. *Software* yang digunakan antara lain *Australis (Software Fotogrametri)* dan *Agisoft PhotoScan (Software Computer Vision)*

## BAB II

### METODOLOGI PENELITIAN

#### II.1 Bahan dan Peralatan Penelitian

Sebelum melakukan sebuah penelitian diperlukan suatu persiapan yang matang guna kelancaran selama proses penelitian sampai penyajian hasil. Agar diperoleh hasil yang optimal maka ada beberapa hal yang harus dipersiapkan terlebih dahulu, yaitu :

### II.1.1 Bahan Penelitian

Adapun materi yang digunakan sebagai bahan dalam penelitian ini meliputi foto area kalibrasi, data parameter kalibrasi, data koordinat GCP (*Ground Control Point*) :

#### 1. Foto Area Kalibrasi

Foto area kalibrasi adalah foto hasil proses dari pemotretan yang mempunyai titik kontrol GPS atau GCP (*Ground Control Point*).

#### 2. Data Koordinat GCP (*Ground Control Point*)

Data koordinat GCP didapatkan dari pengukuran dengan menggunakan *total station*..

## II.2 Peralatan Penelitian

### II.2.1 Hardware dan Software

Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan dalam proses penelitian ini baik perangkat lunak (*software*) maupun perangkat keras (*hardware*) antara lain :

#### 1. *Hardware* terdiri dari

- 1 unit komputer
- Kamera *Sony Alpha 5100*
- Pesawat *Unmanned Aerial Vehicle*
- Kain Premark
- Retro
- *Total Station Topcon GTS 235*

#### 2. *Software* yang digunakan adalah

- *Agisoft Photoscan Professional*
- Microsoft Excel
- Australis 6

## II.3 Lokasi Penelitian

Adapun penelitian dilakukan di area kalibrasi 1 (Kelurahan Tunjungsekar, Kecamatan Lowokwaru Kota Malang).

## II.4 Langkah Penelitian

Dalam proses penelitian haruslah dibuat suatu kerangka pekerjaan yang sistematis agar mudah dipahami dan

mempermudah dalam penelitian. Adapun langkah atau alur penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut :

### **II. 5. 1 Persiapan**

Pada tahap ini yang dilakukan adalah mempersiapkan seluruh aspek yang akan digunakan untuk proses pengambilan data foto udara. Peralatan seperti wahana *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), kamera, *retro target*, *total station*, dan peralatan lainnya harus dipastikan berfungsi dengan baik agar pemotretan dapat berjalan dengan lancar. Pengecekan lapangan yang digunakan sebagai area penelitian juga harus dilakukan.

### **II. 5. 2 Pengumpulan Data**

Dalam pengambilan data foto terdapat hal-hal yang perlu dilakukan yang diantaranya meliputi:

1. Persiapan. Untuk pekerjaan pengambilan data, harus dipersiapkan secara maksimal semua peralatan yang dibutuhkan dengan maksud untuk meminimalisir kesalahan pada saat proses pengambilan data. Pada tahap

ini kita juga mencakup persiapan kamera dan wahana UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) yang menjadi sarana untuk pengambilan foto udara.

2. Hal yang dilakukan selanjutnya adalah survey lapangan untuk mengetahui kondisi di lapangan dan menentukan di mana saja titik *Ground Control Point* (GCP) diletakkan.
3. Setelah itu mulai dilakukan proses desain jalur terbang. Desain jalur terbang dibuat untuk mendapatkan rute penerbangan, serta untuk mendapatkan area yang akan dipotret sesuai dengan keinginan. Desain jalur terbang ini harus memperhatikan *sidelap* dan *endlap* agar foto yang dihasilkan tidak kurang dan tidak perlu melakukan pengulangan penerbangan di rute yang sama.

4. Selanjutnya adalah pemasangan titik GCP yang disebar di ujung-ujung objek yang ada. Sebaran yang ada pun mencakup seluruh wilayah yang akan dipetakan baik di sekeliling wilayah dan juga di dalam cakupan wilayah yang akan dipetakan. Masing-masing titik GCP yang dipasang diberi tanda dengan nomor yang berbeda.
5. Kemudian dilakukan proses pengambilan foto udara mengikuti jalur terbang yang telah dibuat sebelumnya. Sebelum melakukan pemotretan pastikan bahwa wahana UAV dan kamera yang digunakan dalam kondisi bagus dan siap untuk digunakan.
6. Lalu selanjutnya dilakukan proses pengambilan data koordinat titik GCP di lapangan dengan menggunakan *Total Station Topcon GTS 235*.

### **II. 5. 3. Pengolahan Data dengan *Australis 6***

Data foto yang telah diperoleh dari hasil pemotretan udara dapat langsung diolah dengan menggunakan *software Australis 6* dengan prosesnya sebagai berikut

#### **1. Input Nilai pendekatan Kamera**

Memasukkan nilai pendekatan kamera yang diperoleh dari spesifikasi kamera Sony Alpha A-5100 ke dalam *project* kalibrasi kamera yang berupa ukuran sensor dan ukuran piksel serta nilai panjang fokus yang dilakukan dalam pemotretan. Sebelum melakukan input nilai pendekatan kamera pastikan telah melakukan pengaturan untuk *output Bundle Adjustment*.

#### **2. Input Foto Bidang Kalibrasi**

Tahap ini adalah memasukkan foto bidang kalibrasi pada *project Australis*. Foto yang dimasukkan ke dalam *project*

Australis akan diubah formatnya yang semula memiliki format JPG menjadi format TIFF.

### 3. *Measuring*

*Measuring* merupakan proses pembidikan pada titik retro yang telah dipasang di area penelitian.

### 4. *Relative Orientation*

Relative Orientation merupakan proses pengolahan dalam australis dimana tujuan utama dari proses ini adalah untuk membentuk koordinat XYZ dari sekumpulan 6 atau lebih titik obyek yang terlihat dalam dua gambar yang berbeda (gambar kiri dan gambar kanan). Proses RO juga dilakukan sekali dengan melibatkan dua gambar yang cocok yang dapat dilihat setelah melakukan proses compute RO jika hasil dari kedua foto memiliki nilai kontrol (RMS) yang kecil (0-1.4) maka nilai tersebut dapat diterima.

### 5. *Resect All Project Images*

Sebelum melakukan penyesuaian *bundle*, semua gambar dan projek harus direseksi gunanya untuk memberikan nilai-nilai orientasi luar (*Exterior Orientation*) yang optimal. Dari hasil pengolahan ini merupakan total nilai RMS setiap gambar/*project*.

### 6. *Tiangulate*

Pada proses triangulasi ini semua foto yang sudah ada akan dilakukan proses *intersect* (memotong) nilai RMS seluruh foto.

### 7. *Run Bundle*

Merupakan proses terakhir dalam pengolahan kalibrasi kamera ini, hasil yang didapatkan pada proses ini jika akan keluar lampu hijau maka RMS dapat diterima, namun jika lampu merah maka seluruh proses tidak dapat diterima karena nilai RMS nya lebih dari batas toleransi, jika hal ini terjadi

harus mengulang proses kalibrasi kamera dari awal. Setelah foto/gambar yang sudah diolah menggunakan *Software Australis version 6*, maka hasil yang diperoleh adalah nilai parameter kalibrasi kamera parameter *Interior Orientation* yang mempunyai 10 nilai parameter yaitu  $F$ ,  $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$ ,  $P1$ ,  $P2$ ,  $B1$ ,  $B2$ , dan  $Xp$ ,  $Yp$ .

## II. 5. 4. Pengolahan Data Dengan *Agisoft Photoscan*

Secara garis besar, pengolahan data foto udara dengan menggunakan *software agisoft photoscan* meliputi langkah sebagai berikut.

### 1. Proses *Add Photos*

Proses ini adalah proses untuk memasukkan data foto udara pada *software agisoft photoscan* untuk selanjutnya data foto tersebut diolah.

### 2. *Align Photos*

Pada tahap ini *Agisoft Photoscan* akan menemukan titik pencocokan antara

gambar yang bertampalan, memperkirakan posisi kamera untuk setiap foto.

### 3. *Marker Photos*

Penanda digunakan untuk mengoptimalkan posisi kamera dan data orientasinya, yang memungkinkan untuk model yang lebih baik dan menghasilkan akurasi georeferensi. Sekarang kita perlu memeriksa lokasi penanda pada setiap foto yang terkait dan memperbaiki posisinya jika perlu untuk memberikan akurasi yang maksimal.

### 4. Proses *Input Data Koordinat*

Untuk proses kali ini, setelah dilakukan penandaan pada titik GCP (*Ground Control Point*), masukkan nilai koordinat dari GCP tersebut dengan data yang telah diperoleh dari proses pengukuran dengan *Total Station*.

## 5. Optimaze Camera

Pada tahapan kali ini dilakukan proses *bundle adjustment* metode *optimization* untuk pensejajaran foto yang terorientasi secara absolute dengan membentuk hubungan antara sistem koordinat model dan dan koordinat tanah.

## 6. Parameter Kalibrasi Kamera

Tahap akhir untuk mendapatkan hasil dari kalibrasi koordinat yang telah melalui proses *optimize* akan didapat hasil parameter  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$ ,  $K4$ ,  $Skew$ ,  $C_x$ ,  $C_y$ ,  $P1$ ,  $P2$ ,  $P3$ ,  $P4$ .

## II. 5. 5 Analisa Perbandingan Parameter Kalibrasi

Pada proses ini dilakukan perbandingan parameter kalibrasi yang dihasilkan oleh dua teknik yang digunakan yaitu fotogrametri dan *computer vision* yang nanti akan dibahas lebih dalam di bab 4.

## BAB III

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui tingkat keberhasilan dari suatu penelitian, perlu dilakukan proses analisa atau pembahasan dari sebuah hasil yang telah dicapai selama proses pelaksanaan penelitian. Parameter keberhasilan dapat diukur dengan membandingkan tujuan dari penelitian dan hasil yang dicapai. Adapun beberapa parameter yang telah dihasilkan selama penelitian akan disajikan dalam bab ini.

#### III.1 Hasil Penelitian

Dari rangkaian penelitian yang telah dilakukan dan pengolahan data yang diperoleh, maka dapat ditampilkan data parameter kalibrasi kamera yaitu  $f$ ,  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$ ,  $P1$ ,  $P2$ ,  $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$  dalam teknik fotogrametri dan  $f$ ,  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$ ,  $P1$ ,  $P2$ , dalam teknik *computer vision*. Keseluruhan data yang dihasilkan akan ditampilkan pada sub bab di bawah ini.

### III.1.1 Hasil Perhitungan Kalibrasi Kamera dengan Teknik Fotogrametri

Pada perhitungan kalibrasi kamera dengan teknik fotogrametri, pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software Australis versi 6.0*. cara yang diterapkan adalah dengan melakukan proses *bundle adjustment*. Pada proses *bundle adjustment* ini, diterapkan perhitungan dengan menggunakan persamaan kolinear.

Sesuai dengan gambar di atas, diketahui bahwa proses *bundle* telah dilakukan dan memperoleh hasil RMS atau ketelitian sebesar *1.76 microns* dengan titik yang dihitung adalah sebanyak 8 titik.

Kemudian setelah proses *bundle* dan penyimpanan *project* dilakukan, akan muncul hasil berupa *file notepad* dengan nama *Camera.txt*, *Bundle.txt*, *Correlations.txt*, *PointsQxx.txt*, *Resections.txt*, *Residuals.txt*, *Triangulate.txt*. sesuai dengan penelitian ini, maka hasil yang digunakan terletak pada *file notepad Camera.txt* yaitu dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 3.1 Parameter Kalibrasi Kamera Teknik Fotogrametri

Parameter	Nilai
C	30.4162 mm
XP	-0.8580 mm
YP	-0.4913 mm
K1	$3.14954 \times 10^{-5}$
K2	$-5.57147 \times 10^{-7}$
K3	$4.25807 \times 10^{-9}$
P1	$-1.11098 \times 10^{-4}$
P2	$-5.06575 \times 10^{-5}$

Nilai *c* pada tabel di atas adalah panjang fokus, sedangkan *XP* dan *YP* adalah koordinat *principle point*. Kemudian nilai *K1*, *K2*, dan *K3* adalah nilai *distorsi radial*. Sedangkan *P1* dan *P2* adalah nilai *distorsi tangensial*.

Sedangkan nilai *omega*, *phi*, *kappa* untuk masing – masing foto adalah sebagai berikut:

Dalam proses *bundle adjustment*, nilai parameter kalibrasi kamera yang dihasilkan memiliki nilai yang sama untuk ketujuh foto kecuali untuk parameter orientasi luar yaitu *omega*, *phi*, *kappa*. Karena parameter orientasi luar menghitung tentang perputaran sumbu X, Y, dan

Z dari masing – masing foto sehingga hasil yang diperoleh pun berbeda.

### III.1.2 Hasil Perhitungan Kalibrasi Kamera dengan *Computer Vision*

Perhitungan kalibrasi kamera dengan *computer vision* diproses dengan menggunakan *software Agisoft PhotoScan 1.2.4* dengan memasukkan nilai koordinat dari 8 titik GCP (*Ground Control Point*) ke dalam proses perhitungan kalibrasi kamera. Berikut ini adalah data koordinat GCP yang digunakan dalam proses perhitungan kalibrasi kamera:

Tabel 3.2 Koordinat GCP

Na ma GC P	Northing (m)	Easting (m)	Zenit h (m)
A1	9123843. 549	679368. 683	536.1 58
A20	9123880. 784	679406. 86	536.5 62
A21	9123884. 226	679374. 001	536.4 37
A33	9123859. 324	679424. 024	536.7 51
A46	9123858. 817	679427. 802	536.7 92

	133	875	14
A48	9123876. 659	679420. 674	536.4 49
A49	9123883. 76	679362. 348	537.3 58
A56	9123842. 817	679393. 802	536.0 92

Berdasarkan pengolahan menggunakan *software Agisoft Photoscan 1.2.4* didapatkan hasil nilai dari kalibrasi kamera seperti yang ditunjukkan di gambar di bawah ini.

Dari gambar di atas kita dapat melihat parameter kalibrasi yang dihasilkan dengan menggunakan *computer vision*, yaitu parameter *Focal Length (fx, fy)*, *Principal Point (cx, cy)*, *Radial Distortion (K1, K2, K3)*, *Tangential Distortion (P1, P2)*, dan *Skew Transformation*.

### III.1.3 Analisis Perbandingan Hasil dari Perhitungan dengan Teknik Fotogrametri dan *Computer Vision*

Seperti yang telah dijelaskan di atas, perhitungan kalibrasi kamera dilakukan menggunakan dua teknik

yang berbeda. Perbedaan dari kedua teknik ini terletak pada perhitungan yang digunakan, dimana proses fotogrametri menggunakan persamaan kolinier dan transformasi perspektif, sedangkan *computer vision* menggunakan persamaan homogen dengan menggunakan transformasi proyektif.

Setelah dilakukan perhitungan kalibrasi kamera dengan 2 (dua) teknik yang berbeda, telah diperoleh hasil yang berbeda pula. Berikut perbandingan di antara keduanya.

Tabel 3. 3 Perbandingan Parameter Kalibrasi

Parameter	Fotogrametri	Standar Deviasi	Computer Vision	Standar Deviasi
c	30.416 2 mm	2.87 9 mm	35 mm	-
XP	- 0.8580 mm	0.42 81 mm	2.8688 8 mm	-
YP	- 0.4913 mm	0.54 55 mm	1.9291 1 mm	-

K1	3.1495 $4 \times 10^{-5}$	5.38 $8 \times 10^{-5}$	- 0.0267 231	-
K2	3.1495 $4 \times 10^{-5}$	8.55 $2 \times 10^{-7}$	0.3276 75	-
K3	4.2580 $7 \times 10^{-9}$	4.19 $7 \times 10^{-9}$	- 3.6758 6	-
P1	- 1.1109 $8 \times 10^{-4}$	6.62 $6 \times 10^{-5}$	- 6.4398 $\times 10^{-5}$	-
P2	- 5.0657 $5 \times 10^{-5}$	1.02 $9 \times 10^{-4}$	0.0001 14058	-

Dilihat dari tabel perbandingan di atas, nilai parameter kalibrasi teknik fotogrametri lebih kecil dibandingkan dengan nilai parameter kalibrasi teknik *computer vision*, jadi dapat disimpulkan bahwa perhitungan kalibrasi dengan menggunakan teknik fotogrametri lebih baik karena pada teknik fotogrametri nilai parameter yang dihasilkan lebih kecil dan dapat diketahui nilai standar deviasinya.

## BAB IV

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### IV.1 Kesimpulan

Setelah melakukan perhitungan parameter kalibrasi kamera dengan menggunakan dua teknik yaitu fotogrametri dan computer vision, didapatkan kesimpulan bahwa perhitungan kalibrasi kamera dengan menggunakan teknik fotogrametri lebih teliti dibandingkan dengan teknik *computer vision* karena nilai parameter yang dihasilkan lebih kecil dan memiliki standar deviasi. Berikut adalah perbandingan nilai yang menunjukkan bahwa teknik fotogrametri lebih baik.

Tabel 4.1 Nilai Parameter Kalibrasi dari Kedua Teknik

	mm	mm		
YP	- 0.4913 mm	0.54 55 mm	1.9291 1 mm	-
K1	3.1495 $4 \times 10^{-5}$	5.38 $8 \times 10^{-5}$	- 0.0267 231	-
K2	3.1495 $4 \times 10^{-5}$	8.55 $2 \times 10^{-7}$	0.3276 75	-
K3	4.2580 $7 \times 10^{-9}$	4.19 $7 \times 10^{-9}$	- 3.6758 6	-
P1	- 1.1109 $8 \times 10^{-4}$	6.62 $6 \times 10^{-5}$	- 6.4398 $\times 10^{-5}$	-
P2	- 5.0657 $5 \times 10^{-5}$	1.02 $9 \times 10^{-4}$	0.0001 14058	-

Parameter	Fotogrametri	Standar Deviasi	Computer Vision	Standar Deviasi
c	30.416 2 mm	2.87 9 mm	35 mm	-
XP	- 0.8580	0.42 81	2.8688 8 mm	-

#### IV.2 Saran

1. Bagi pelaku fotogrametri sebaiknya melakukan perhitungan kalibrasi kamera dengan menggunakan teknik fotogrametri karena nantinya nilai yang dihasilkan akan lebih teliti.
2. Lakukan proses *measuring*

atau penandaan titik GCP (*Ground Control Point*) dengan teliti berada di tengah – tengah target agar mendapatkan hasil yang maksimal.

3. Perhatikan persebaran atau peletakan titik *retro target* di lapangan agar mempermudah di saat proses perekaman berlangsung.

- 4.

#### DAFTAR PUSTAKA

Atkinson, K. B. 1987. *Developments in Close Range Photogrammetry-1*. Applied Science Publishers. London.

Atkinson, K. B. 1996. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Applied Science Publishers. London.

Dorstel, C., 2004. *Photogrammetric Accuracy – Calibration Aspect And Generation Of Synthetic DMC Images*, University of Hannover, Germany.

Hasyim, A. W., Taufik, M. 2009. Menentukan Titik Kontrol Tanah (GCP) dengan Menggunakan Teknik GPS dan Citra Satelit Untuk Perencanaan Perkotaan. Jurnal Institut Teknologi Sepuluh November.

Mallon, J., & Whelan, P. 2004. *Precise radial undistortion of images*. Proceedings of the 17<sup>th</sup> International

- conference on Pattern Recognition volume 1 (pp. 18-21).
- Mikhail, J. S. Bethel, et al. 2001. *Introduction To Modern Photogrammetry*. New York, John Wiley and Sons, Inc.
- OpenCV, User Manual
- Suharsana, 1999. Pemetaan Fotogrametri. Jurusan teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Tang, Rongfu. 2013. *Mathematical Methods For Camera Self-Calibration in Photogrammetry and Computer Vision*. Disertasi doktor pada Universitas Stuttgart. Munchen.
- Wang, X. and T. A. Clarke. 1998. *Separate Adjustment of Close Range Photogrammetric Measurements*. ISPRS XXXII.
- Weng, J., Cohen, P., & Herniou, M. 1992. *Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence volume 14 (pp 965-980).
- Wikantika. K, 2009. *Unmanned Mapping Technology: Development and Applications*. Workshop Sehari "Unmanned Mapping Technology: Development and Applications" (UnMapTech2008). Bandung, Indonesia.
- Wolf, P. R. and Dewitt, B. A. 2000. *Element Of Photogrammetry With Application in GIS*. Mc Graw Hill, New York.

Zhang, Z. 2000. *A flexible  
new technique for  
camera calibration.*  
IEEE Transactions on

Pattern Analysis and  
Machine Intelligence  
volume 22v(pp 1330-  
1334).

