

KAJIAN UJI STABILITAS PARAMETER KALIBRASI

KAMERA *FIXED-LENS*

SKRIPSI



Disusun Oleh :

LIDYA RIHINAWA

12.25.024

JURUSAN TEKNIK GEODESI

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL

MALANG

2016

LEMBAR PERSETUJUAN

**KAJIAN UJI STABILITAS PARAMTER KALIBRASI
KAMERA *FIXED-LENS***

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam mencapai Gelar Sarjana
Teknik (ST) Strata Satu (S-1) Teknik Geodesi dan Geoinformatika S-1
Institut Teknologi Nasional Malang**

Oleh :

Lidya Rihinawa

12.25.024

Menyetujui :

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Pendamping


(M. Edwin Tjahjadi, ST., M.Geom.,Sc.Ph.D)


(Alifah Noraini, ST., MT)

Mengetahui :

Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geoinformatika S-1


(M. Edwin Tjahjadi, ST., M.Geom.,Sc.Ph.D)



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK**

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SEMINAR HASIL SKRIPSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

NAMA : LIDYA RIHINAWA

NIM : 12.25.024

JURUSAN : TEKNIK GEODESI

JUDUL : KAJIAN UJI STABILITAS PARAMETER KALIBRASI KAMERA *FIXED-LENS*

Telah Dipertahankan di Hadapan Panitia Penguji Ujian Skripsi Jenjang Strata 1 (S-1)

Pada Hari : Sabtu

Tanggal : 20 Agustus 2016

Dengan nilai :

Panitia Ujian Skripsi

Ketua

(Ir. Jasmani, M.Kom)

Penguji I

Dosen Pendamping

Penguji II

(Ir. Leo Pantimena, MSc)

(M.Edwin Tjahjadi, ST., M.Geo., Sc., Ph.D)

(Feny Arafah, ST., MT)

KAJIAN UJI STABILITAS PARAMETER KALIBRASI KAMERA *FIXED-LENS*

Lidya Rihinawa 1225024

Dosen Pembimbing 1 : M. Edwin Tjahjadi, ST., M.Geom.,Sc.Ph.D

Dosen Pembimbing 2 : Alifah Noraini, ST., MT

ABSTRAKSI

Kamera digital atau kamera non-metrik yang digunakan untuk kepentingan pemetaan udara di era ini semakin banyak digunakan karena harganya yang relatif murah dibandingkan dengan kamera metrik. Akan tetapi, kamera non-metrik memiliki kekurangan pada ketidak stabilan pada nilai parameter *Interior Orientation* (IO). Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui stabilitas dari nilai parameter kalibrasi kamera dengan menggunakan kamera Sony Mirrorless Alpha ILCE A-5100 dengan menggunakan lensa fiks 35mm.

Penelitian ini menggunakan teknik *self-calibration*, dengan mengambil data kalibrasi kamera pada waktu sebelum dan sesudah pemotretan pada gedung Geodesi ITN Malang kampus 1 dan pada waktu pemotretan menggunakan foto udara pada area kalibrasi 3. Data yang didapat dari ketiap masing-masing waktu pemotretan diolah dengan menggunakan Australis versi 6.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan ketidakstabilan lebih signifikan terjadi pada nilai parameter *Interior Orientation* (IO) pada parameter pokok IO yaitu panjang fokus kamera (c) dan bidang proyeksi pusat lensa ke bidang sensor (X_p , Y_p) pada saat sebelum pemotretan, saat maupun setelah pemotretan.

Kata Kunci : *Fotogrametri Digital, Kalibrasi Kamera, Parameter Interior Orientation, Kamera Non-Metrik, Self-Calibration*

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Lidya Rihinawa
NIM : 1225024
Program Studi : Teknik Geodesi S-1
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi saya yang berjudul :

“Kajian Uji Stabilitas Parameter Kalibrasi Kamera *Fixed-Lens*”

Adalah hasil karya saya sendiri dan bukan menjiplak atau menduplikat serta tidak mengintip atau menyadur dari hasil karya oranglain kecuali disebutkan sumbernya.

Malang, 25 Agustus 2016

Yang membuat pernyataan



Lidya Rihinawa
NIM : 1225024

LEMBAR PERSEMBAHAN

MY SAVIOUR "JESUS CHRIST"

Puji Tuhan, Lidya bisa dapat menyelesaikan perkuliahan Lidya tepat waktu sesuai dengan target saya. Saya bisa menyelesaikan setiap pergumulan-pergumulan skripsi saya berkat kasih dan campur tangan Tuhan Yesus Kristus. I love You my Father ☺

BAPA & MAMA

Bapa, Mama. Terimakasih banyak buat kasih kalian yang tidak pernah berkurang, setiap pengajaran, setiap teguran yang kalian berikan. Lidya sudah menjadi seperti sekarang ini, baru ini yang bisa Lidya berikan untuk kalian berdua orang yang paling Lidya sayangi my first love (Bapa) and my angel (Mama). I promise, I will make you proud ☺

MY FAMILY

Buat kak Ince, kak Frans, Kak Djois, Kak Hegen, kak Nana, kak Erny, kak Randy, Kak Yolana, kak Man, kak Iwan dan semua seluruh keluarga Lidya yang tidak dapat dituliskan satu persatu. Terimakasih banyak buat dukungan doa, nasehat serta bantuan materi yang telah kalian berikan. Si bungsu 'manja' sudah LULUS!!

MY SPECIAL PEOPLES!

Buat Andi Dwi Wahyuni, Cening Ayu Merta, Christine N. Frans, Annisah Hanifa, Sarah A. Pandiangan, Mutiara Ika, Rio Setyo Anggoro, Diyan Purnama Putra, Abdul Kamal. Muaachi bingo ya kalian udah selalu ngasih 'support' buat akyu (maaf buat bagian ini emang segaja dibuat *TIDAK FORMAL*). Pokoknya big thanks deh! Buat Sarah dan Tiara pet nyusul yak :* love you all ☺

KGC ALL TEAM

Buat ce Fitri, ko Alex, Ce Lany, Ko Dave, Kak Christy, Kak Ardo, Bang Muntek, kak Anita, Ko Aceng, Kevin, Dhiki, Ko Tipen dan all KGC. Terimakasih untuk tali persodaraan kita didalam Yesus, terimakasih atas setiap dukungan doa, kita sharing bareng, bahagia bareng, nangis bareng dan gila bareng. Cuma mau bilang "*thankyou for being the best part of my life*".

GEODESI 2012

Buat seluruh anggota UAV TEAM 2012, Lidya Viegas, Miss Geodesi, Bq Nunung, Iin, bang Ipul, Enza, Rosmulyati dan seluruh teman yang tidak bisa diucapkan satu persatu. Terimakasih banyak buat 4 tahun kebersamaan kita ini ya temans, sukses buat kalian semua. Kelak suatu hari nanti kita berjumpa lagi sudah menjadi orang-orang yang sukses dan bermanfaat! **HIDUP DARAH ORANGE!**

DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI

Buat Mr. M. Edwin Tjahjadi, S.T., M.Geom.Sc., Ph.D and Mrs. Alifah Noraini, S.T., M.T selaku dosen pembimbing skripsi saya, terimakasih atas bimbingannya atas ilmu yang diberikan, atas waktu dan kesabaran untuk membimbing saya dari awal saya menyusun skripsi sampai selesai. Terimakasih bapak ganteng, terimakasih ibu cantik ☺

SELURUH DOSEN PENGAJAR TEKNIK GEODESI

Terimakasih banyak untuk semua ilmu, didikan serta pengalaman yang sangat berharga yang telah kalian berikan.

SELURUH STAF AKADEMIK TEKNIK GEODESI

Buat Ibu Sulis, Mas Heri, Pak Tis terimakasih banyak atas bantuan-bantuan yang telah kalian berikan.

MALANG 'KOTA DINGIN'

Terimakasih sudah menampung saya beberapa tahun ini, terimakasih arek-arek Ngalam semuanya. Banyak kenangan yang ada di kota Malang ini, Malang sudah menjadi rumah kedua bagi saya. Never forget this place! ☺

**"JANGAN CUMA BERMIMPI MENJADI ORANG SUKSES KALO
BELUM JADI BERKAT DAN BERMANFAAT BAGI ORANG LAIN"**

sekian

KATA PENGANTAR

Segala Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat rahmat dan anugerah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Skripsi secara lancar dengan judul:

“KAJIAN UJI STABILITAS PARAMETER KALIBRASI KAMERA FIXED-LENS”

Penulisan Skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan mendapatkan gelar Strata Satu (S-1) di Jurusan Teknik Geodesi dan Geoinformatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang. Penulis mengucapkan terima kasih kepada para pihak yang membantu hingga terselesaikannya Skripsi ini, antara lain:

1. Bapak M. Edwin Tjahjadi, ST., M.Gem.Sc.,Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang dan selaku dosen pembimbing utama.
2. Ibu Alifah Noraini, ST., MT selaku dosen pembimbing pendamping.
3. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu mendoakan dan memberi bantuan moral dan materil.
4. Seluruh karyawan dan dosen jurusan Teknik Geodesi dan Geoinformatika FSTP ITN Malang.
5. Teman-teman yang ikut dalam penelitian ini yang telah memberikan bantuan dan semangat.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa didalam penyusunan Skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan, baik ditinjau dari segi ilmiah maupun tata bahasanya. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati dan lapang dada, penulis akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun.

Akhir kata penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat, khususnya bagi penulis dan pembaca pada umumnya, serta penulis mengucapkan banyak terima kasih.

Malang, Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	i
BERITA ACARA.....	ii
ABSTRAKSI.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Perumusan Masalah.....	1
I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	1
I.3.1 Tujuan Penelitian.....	2
I.3.2 Manfaat Penelitian.....	2
I.4 Batasan Penelitian.....	2
I.5 Sistematika Penulisan.....	2

BAB II DASAR TEORI

II.1 Kalibrasi Kamera.....	3
II.1.1 Metode Kalibrasi Kamera.....	6
II.1.2 <i>Basic Rules for Self-Calibration</i>	7
II.2 Metode Kalibrasi.....	7
II.3 Kamera.....	10
II.3.1 Foto Udara Format Kecil.....	12
II.3.2 Spesifikasi Kamera Sony Alpha ILCE A-5100.....	14

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Persiapan Penelitian.....	15
---------------------------------	----

III.2 Lokasi Penelitian.....	16
III.3 Diagram Alir Penelitian.....	17
III.4 Penjelasan Diagram Alir Penelitian.....	18
III.5 Langkah Kerja.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Kalibrasi Kamera.....	28
IV.2 Parameter <i>Interior Orientation</i> (IO).....	28
IV.3 Hasil Uji Stabilitas Parameter Kalibrasi Kamera (IO).....	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan.....	35
V.2 Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA.....	36
LAMPIRAN.....	38
A. HASIL PARAMETER IO SEBELUM PEMOTRETAN.....	39
B. HASIL PARAMETER IO SAAT PEMOTRETAN.....	41
C. HASIL PARAMETER IO SETELAH PEMOTRETAN.....	43
D. HASIL PARAMETER IO TIAP WAKTU PEMOTRETAN.....	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ilustrasi Akibat Adanya Distorsi Lensa dan Tidak Ortogonalnya Sumbu(Sumber: Hanifa, 2007).....	5
Gambar 2.2	Distrosi Radial (Sumber Slide App03A_LensDist).....	12
Gambar 2.3	Geometri sebuah foto udara tegak (Wolf, 1983).....	14
Gambar 2.4	Spesifikasi Kamera Sony Aplha ILCE A-5100.....	14
Gambar 3.1	Kamera <i>Sony Mirrorles Digital Camera ILCE-α5100</i>	15
Gambar 3.2	<i>Fixed-Lens 35mm</i>	15
Gambar 3.3	Contoh Lokasi Kalibrasi Kamera Sebelum dan Sesudah Pemotretan.....	16
Gambar 3.4	Contoh Lokasi Kalibrasi Kamera Saat Pemotretan.....	16
Gambar 3.5	Contoh Retro pada Gedung Geodesi ITN Malang.....	18
Gambar 3.6	Contoh Retro pada Area Lapangan Kalibrasi 3.....	18
Gambar 3.7	<i>Window Camera Database</i>	19
Gambar 3.8	<i>Define Project Units</i>	22
Gambar 3.9	<i>Australis Preferences</i>	22
Gambar 3.10	<i>Camera Input</i>	23
Gambar 3.11	Proses <i>Input data Project 1</i>	24
Gambar 3.12	Proses <i>Add Data</i>	24
Gambar 3.13	Data Berhasil Dimasukan.....	25
Gambar 3.14	Proses Ekstrasi Titik <i>Retro-Reflective</i>	25
Gambar 3.15	Input Foto <i>Relative Orientation</i>	26
Gambar 3.16	Hasil <i>Relative Orientation</i>	26
Gambar 3.17	Hasil Reseksi.....	27
Gambar 3.18	Hasil <i>Run Bundle</i>	27
Gambar 4.1	Total <i>Final Value</i> Tiap Waktu Pemotretan.....	31

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Daftar Parameter <i>Interior Orientasi</i> (IO).....	7
Tabel 4.1	Parameter IO Sebelum Pemotretan.....	28
Tabel 4.2	Parameter IO Saat Pemotretan.....	29
Tabel 4.3	Parameter IO Setelah Pemotretan.....	29
Tabel 4.4	Total <i>Final Value</i> Tiap Waktu Pemotretan.....	30
Tabel 4.5	Total <i>Final Value</i> dan <i>Final Standard Error</i> Tiap Waktu Pemotretan.....	33

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Dalam penggunaan kamera *digital* non-metrik untuk aplikasi fotogrametri makin berkembang, dengan didukung oleh perkembangan perangkat lunak yang tersedia dan harga kamera *digital* non metrik yang relatif murah dengan spesifikasi yang bagus. Hal ini membuat penggunaan teknologi fotogramteri rentang dekat untuk pekerjaan pemetaan semakin diminati karena memiliki keuntungan dapat menjangkau daerah yang sulit dijangkau atau memiliki dimensi yang kecil. Namun kekurangannya kamera jenis ini memiliki kualitas geometrik yang kurang baik sehingga mengakibatkan posisi pada foto yang dihasilkan kurang akurat (Afriyanti, 2005).

Dalam penelitian ini penulis akan membandingkan kestabilan parameter kalibrasi kamera dengan menggunakan *Sony Mirrorless Digital Camera Alpha ILCE-5100* dengan ukuran piksel 4000x6000 (*width* 6000, *height* 4000) yang menggunakan lensa fiks yang berarti pada panjang fokus lensa tersebut sudah tetap tidak bisa *zoom in* atau *zoom out* dengan panjang fokus kamera 35mm. Kemudian dengan menggunakan bantuan *software Australis 6* untuk mengetahui adanya kestabilan dan ketidak-stabilan antara kamera digital non-metrik biasa dan kamera *digital* non-metrik *fixed-lens* pada saat sebelum pemotretan, saat pemotretan dan sesudah pemotretan yang dilihat dari hasil nilai dari parameter kalibrasinya.

Hasil yang didapat dari penelitian ini berupa nilai-nilai parameter kalibrasi kamera *Interior Orientation* (IO) yang kemudian peneliti dapat menyimpulkan hasil dari pada nilai-nilai tersebut pada waktu sebelum pemotretan, saat pemotretan dan setelah pemotretan kamera dengan tipe Sony berlensa fiks 35mm mengalami perubahan stabilitas pada panjang fokus kamera.

I.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini yaitu bagaimana mengetahui kestabilan nilai parameter kalibrasi kamera pada saat sebelum pemotretan, saat pemotretan dan sesudah pemotretan berlangsung.

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

I.3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu dapat mengetahui nilai stabilitas parameter kalibrasi kamera *Interior Orientation* (IO) dari kamera lensa fiks dengan panjang fokus 35mm, dan untuk menguji kestabilan nilai parameter kalibrasi kamera pada saat sebelum pemotretan, saat pemotretan dan sesudah pemotretan dilihat dari perubahan kestabilan dari ketiga waktu pemotretan pada nilai panjang fokus kamera (c).

I.3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui stabilitas dari kamera *Sony Mirrorless Alpha ILCE A-5100* khususnya dengan menggunakan lensa fiks, dan hasil yang diperoleh dari penelitian ini kiranya dapat bermanfaat bagi penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan mencari stabilitas parameter kalibrasi kamera.

I.4 Batasan Penelitian

Agar pembahasan penelitian ini tidak menyimpang dari apa yang telah dirumuskan, maka penulis merasa perlu untuk memberikan batasan-batasan dari penelitian ini, yaitu:

1. Pelaksanaan kalibrasi kamera sebelum dan sesudah pemotretan mengambil obyek dari retro yang dipasang pada gedung Geodesi ITN Malang dengan menggunakan kamera *fixed-lens* dengan panjang fokus 35mm, metode yang digunakan adalah *Self-Calibration*.
2. Pada saat pemotretan akan mencakup wilayah kecamatan Lowokwaru, Malang dengan menggunakan pesawat UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*).

I.5 Sistematika Penulisan

Penelitian ini disajikan dalam laporan tertulis yang penyusunannya dibagi menjadi lima bab. Berikut adalah uraian singkat dari kelima bab tersebut.

a. BAB I – PENDAHULUAN

Bab ini menyajikan latar belakang, lokasi, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, batasan masalah, serta sistematika penulisan penelitian.

b. BAB II – DASAR TEORI

Bab ini menyajikan kajian teori-teori yang berkaitan dengan penelitian ini serta rumusan pengerjaan untuk menyelesaikan permasalahan.

c. BAB III – METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan penjelasan mengenai sistematika pekerjaan yang digunakan dalam penyelesaian masalah, serta dilengkapi dengan diagram alir proses pengerjaan.

d. BAB IV – HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan penjelasan mengenai hasil analisa dari kajian parameter kalibrasi kamera *fixed-lens* pada saat sebelum, saat dan sesudah pemotretan.

e. BAB V – KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang didapat.

BAB II DASAR TEORI

II.1 Kalibrasi Kamera

Setelah selesai dibuat dan sebelum digunakan, kamera foto udara dikalibrasi secara cermat untuk menentukan nilai yang tepat bagi sejumlah konstanta. Pada umumnya konstanta ini disebut orientasi bagian dalam (*element of interior orientation*). Unsur orientasi ini diperlukan untuk menentukan data foto yang akurat (Wolf, 1993).

Kamera fotogrametri tidak mempunyai lensa yang sempurna, sehingga proses perekaman yang dilakukan akan memiliki kesalahan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkalibrasian kamera untuk dapat menentukan besarnya penyimpangan-penyimpangan yang terjadi. Kalibrasi adalah kegiatan untuk memastikan hubungan antara harga-harga yang ditunjukkan oleh suatu alat ukur dengan harga yang sebenarnya dari besaran yang diukur (Hanifa 2007).

Kalibrasi kamera merupakan proses penentuan parameter internal kamera udara, untuk selanjutnya parameter-parameter ini akan dijadikan input dalam orientasi dalam (Gularso, 2013).

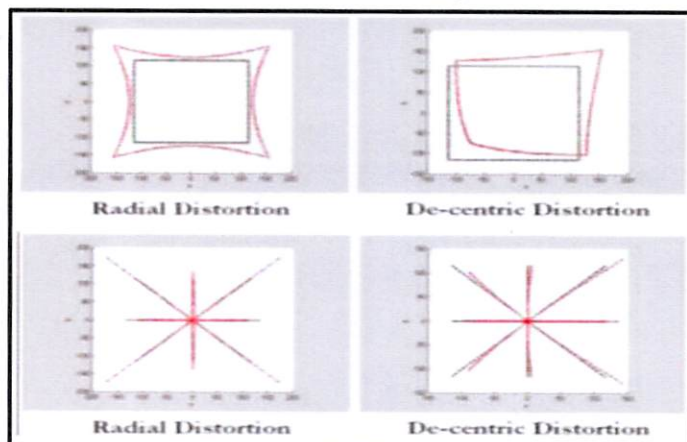
Metode kalibrasi kamera pada umumnya dibedakan menurut satu di antara tiga kategori dasar, yaitu: (1) metode laboratorium, (2) metode lapangan, dan (3) metode *stellar*.

Unsur orientasi bagian dalam yang dapat ditentukan melalui kalibrasi kamera ialah:

1. *Panjang fokus ekuivalen*. Panjang fokus yang efektif di dekat pusat lensa kamera.
2. *Panjang fokus terkalibrasi* (sering disebut konstanta kamera). Panjang fokus yang menghasikan distribusi distorsi radial lensa rata-rata secara menyeluruh.
3. *Distorsi radial lensa rata-rata*. Distorsi posisi gambar di sepanjang garis radial dari titik utama.
4. *Distorsi tangensial lensa*. Distorsi posisi gambar dengan arah tegak lurus terhadap garis radial dari titik utama (pada umumnya sangat kecil

dan dapat diterima pada kebanyakan pekerjaan teliti, biasanya kesalahan ini dapat diabaikan).

5. *Lokasi titik utama*. Koordinat titik utama yang dinyatakan terhadap x dan y sumbu fidusial (meskipun pembuat kamera bermaksud menempatkan tanda fidusial sedemikian sehingga pasangan yang berhadapan berpotongan pada titik utama, hamper selalu ada penyimpangan kecil terhadap kondisi ideal ini).
6. *Jarak antara dua tanda fidusial yang berhadapan* (sering dinyatakan dengan koordinat tanda fidusial itu).
7. *Sudut perpotongan garis-garis fidusial* (seharusnya sebesar $90^\circ \pm 1$ menit).
8. *Kerataan bidang fokal* (seharusnya tidak menyimpang lebih dari $\pm 0,0005$ inchi atau $0,01$ mm dari bidang datar).



Gambar 2.1 Ilustrasi akibat adanya distorsi lensa dan tidak ortogonalnya sumbu (Sumber: Hanifa, 2007)

Distorsi lensa dapat menyebabkan bergesernya titik pada foto dari posisi yang sebenarnya, sehingga memberikan kualitas ketajaman foto yang dihasilkan. Distorsi lensa dapat dibagi menjadi distorsi radial dan distorsi tangensial. Distorsi radial adalah pergeseran linier titik foto dalam arah radial terhadap titik utama dari posisi idealnya. (Wigarta, 1986).

Distorsi tangensial atau distorsi *dicentric* adalah pergeseran linier titik di foto pada arah normal (tegak lurus) garis radial melalui titik foto tersebut. (Wigarta, 1986). Distorsi tangensial disebabkan kesalahan elemen-elemen lensa dalam satu gabungan lensa dengan titik pusat elemen-elemen lensa dalam gabungan lensa

dalam gabungan lensa tersebut tidak terletak pada satu garis lurus. Ilustrasi akibat adanya distorsi pada kamera dapat dilihat pada gambar 2.1.

Kalibrasi kamera dapat dilakukan dengan 3 (tiga) cara (Stensaas, 2007): *in-laboratory*, *in-field*, dan *in-flight*. Teknik kalibrasi *in-laboratory* dilakukan di studio atau laboratorium menggunakan peralatan *multicolimator* atau *goniometer*. Pendekatan yang digunakan pada teknik ini umumnya dilakukan dengan pemotretan serangkaian sasaran posisi relatifnya diketahui pengukuran teliti pada sasaran (target) dan membandingkannya terhadap posisi sasaran (target) yang sebenarnya.

Teknik kalibrasi *in-field* dilakukan menggunakan target, dimana parameter kalibrasi kamera dihitung menggunakan metode *Bundle Adjustment*, *Plumb Line*, atau DLT (*Direct Linear Transform*). Kalibrasi kamera digital non-metrik secara *in-field* dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak tertentu. Perangkat lunak yang digunakan diantaranya adalah perangkat lunak *Australis*. Perangkat lunak ini didesain dengan performa tinggi dalam melakukan kalibrasi secara otomatis dan cocok untuk mengkalibrasi kamera non-metrik maupun kamera amatir (Rahman, Setan, Albert, Majid, & Ahmad, 2005). Perangkat lunak ini dapat mendeteksi retro target secara otomatis, semi-otomatis, maupun secara manual. Untuk melakukan kalibrasi menggunakan perangkat lunak ini, dibutuhkan minimal 8 (delapan) foto pada obyek kalibrasi yang melingkupi titik-titik retro target dengan 4 (empat) sudut pemotretan yang berbeda, dan dilakukan secara *portrait* dan *landscape* (Photometrix, 2007).

Kamera non-metrik tidak mempunyai lensa yang sempurna, sehingga proses perekaman yang dilakukan akan memiliki kesalahan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkalibrasian kamera untuk mendapatkan besarnya penyimpangan-penyimpangan yang terjadi. Kalibrasi adalah kegiatan untuk memastikan hubungan antara harga-harga yang ditunjukkan oleh suatu alat ukur dengan harga sebenarnya dari besaran yang diukur. Kalibrasi kamera dilakukan untuk menentukan parameter distorsi, meliputi distorsi radial dan distorsi tangensial (*decentering*), serta parameter-parameter lensa lainnya, termaksud juga *principal distance* (c), serta titik pusat fidusial foto. Pada kalibrasi terdiri dari elemen *interior orientation* (x_0 , y_0 , c), koefisien distorsi lensa (K_1 , K_2 , K_3 , P_1 dan P_2) serta koefisien untuk perbedaan penyekalaan dan ketidak orthogonal antara sumbu X dan Y (b_1 dan b_2). Distorsi

lensa dapat menyebabkan bergesernya titik pada foto dari posisi yang sebenarnya (Hanifa, 2007)

Kalibrasi kamera pada keperluan fotogrametri adalah bagian yang sangat penting dan tidak boleh diabaikan. Meskipun dimungkinkan untuk mendapatkan ortoprojekt yang akurat tanpa melakukan kalibrasi kamera, namun akan membutuhkan jaringan yang sangat padat pada titik kontrol. Teknik jaringan ini yang akan membuat proyek fotogrametri sangat mahal (Wagner and Székely, 2010).

<i>Symbol</i>	<i>Description</i>
F	<i>Gaussian focal length</i>
K_1, K_2, K_3	<i>Parameters for radial distortion</i>
P_1, P_2	<i>Parameters for decentering distortion</i>
B_1, B_2	<i>Differential scale distortion (for digital cameras)</i>
X_p, Y_p	<i>Position of the principal point of symmetry with respect to the array pixel frame.</i>

Tabel 2.1. Daftar Parameter Interior Orientasi (IO)

II.1.1 Metode Kalibrasi Kamera

Ada banyak pendekatan pada kalibrasi kamera dengan meningkatnya popularitas dari bidang Komputer Vision sebagai sebuah area penelitian, metode tersebut juga turut meningkat. Metode kalibrasi kamera yang dipilih oleh para photogrammetrists dapat dikategorikan secara luas menjadi 3 (tiga) kelas, yaitu:

1. *In-Situ Calibration.*
2. *Precision multi-collimator instrument.*
3. *Self Calibration*

Self-Calibration menggunakan informasi yang ada dalam gambar dari kamera yang belum dikalibrasi untuk menentukan parameter

kalibrasinya. (Fraser, 1997; Fraser 2001; Remondino and Fraser 2006; Strumm, 1998), metode dari *Self Calibration* termasuk menghasilkan persamaan Kruppa (Faugeras et.al., 1992), penegakan keterbatasan linier pada matriks kalibrasi. Sebuah metode yang menentukan kuadrat tetap, dimana gambar kerucut dalam sebuah pesawat tidak terbatas. Sementara ada banyak teknik yang digunakan para peneliti (Hartley, 1994; Faugeras et.al.,1992), banyak dari mereka tidak mendapatkan solusi untuk distorsi (kesalahan) dan *principal point* (titik bertemunya sumbu lensa dengan CCD), karena mereka tidak dianjurkan oleh komputer vision. Dengan kata lain bagi para fotogrametris, ini merupakan parameter yang penting untuk menghasilkan sebuah produk dengan harga yang sesuai.

Pada teknik *Self Calibration* ini dilakukan dengan cara mengambil beberapa foto (lebih dari satu foto) pada titik yang sama.

II.1.2 Basic Rules for *Self-Calibration*

Ada 4 dasar aturan yang berlaku dalam perekaman foto kalibrasi kamera untuk fotogrametri.

1. Lensa kamera tidak harus terfokus kembali selama pemotretan berlangsung.
2. Pembesaran lensa tidak harus disesuaikan selama pemotretan berlangsung.
3. Jika kamera memiliki fungsi '*auto rotate*', yang secara digital berputar pada gambar yang direkam, fungsi tersebut harus di matikan (*Turned OFF*).
4. Gambar harus direkam/difoto pada resolusi yang paling tinggi (ukuran gambar) dan kualitas yang tinggi pula.

Jika target retro memantulkan cahaya, kamera jelas akan membutuhkan flash. Jika flash terlalu terang dan tidak bisa mengontrol intensitas cahayanya, adakalanya perekaman sepotong kertas kecil di atas flash akan menghasilkan efek yang diinginkan dengan mengurangi intensitas cahaya sehingga tidak menjenuhkan pada target retro.

II.2 Metode Kalibrasi

Prosedur teknik *self-calibration* dalam penelitian ini adalah berdasarkan solusi pada kuadrat terkecil ke masalah pengikatan kemuka fotogrametri (*photogrammetric resection*). Diketahui dengan baik persamaan proyeksi kolinier dari dari model dasar matematis.

$$X - X_p = -f \left[\frac{m_{11}(X-X_c) + m_{12}(Y-Y_c) + m_{13}(Z-Z_c)}{m_{31}(X-X_c) + m_{32}(Y-Y_c) + m_{33}(Z-Z_c)} \right]$$

$$Y - Y_p = -f \left[\frac{m_{21}(X-X_c) + m_{22}(Y-Y_c) + m_{23}(Z-Z_c)}{m_{31}(X-X_c) + m_{32}(Y-Y_c) + m_{33}(Z-Z_c)} \right] \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

- X, Y = Koordinat foto yang sudah dihitung
- X_p, Y_p = Posisi Principal Point
- f = Panjang Fokus Kamera
- X_c, Y_c, Z_c = Koordinat Stasiun Pemortetan
- m_{11} = $\cos \varphi \cos \kappa$
- m_{12} = $\sin \varphi \sin \omega \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa$
- m_{13} = $-\cos \varphi \sin \omega \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa$
- m_{21} = $-\cos \varphi \sin \kappa$
- m_{22} = $-\sin \omega \sin \varphi \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa$
- m_{23} = $\cos \omega \sin \varphi \sin \kappa + \sin \omega \cos \kappa$
- m_{31} = $\sin \varphi$
- m_{32} = $-\sin \omega \cos \varphi$
- m_{33} = $\cos \omega \cos \varphi$

Maka dari persamaan 1 di atas, (x, y) adalah perhitungan koordinat foto yang telah diperhitungkan dan (x_p, y_p) adalah posisi dari *principle point* pada lensa, dalam sistem koodinat foto f ditujukan ke *focal length* dan $\begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix}$ adalah matriks orientasi kamera. Saat lensa dalam kamera terdiri dari rangkaian sistem kompleks dari lensa, cahaya garis yang ada dalam lensa tidak selalu tegak lurus. Akibatnya bahwa garis lurus dalam ruang obyek tidak digambarkan dalam sebuah foto. Efek tersebut dinamakan distorsi. Terutama, yang berkepentingan dengan karakteristik adalah *radial distortion* dan *de-centring distortion* (distorsi tangensial).

1. Distorsi Radial

Distorsi radial menyebabkan semua bagian gambar diubah letaknya menurut jari-jari, bermula dari sumbu optik. Keadaan ini disebabkan oleh kesalahan dalam pengasahan bagian-bagian lensa. Nilai distorsi radial merupakan perpindahan secara radial suatu titik dari posisi sebenarnya terhadap posisi dari *principle point* (x_0, y_0) dengan indicator apabila nilainya positif maka pergeserannya mengarah keluar dan jika nilainya negatif maka pergeserannya mengarah ke dalam. Secara teoritik koreksi radial dilakukan setelah dilakukan reduksi gambar ke titik utama dan koreksi oleh kesalahan pengkerutan atau pemekaran. Jumlah pengkerutan dan pemekaran pada foto ditentukan di dalam kalibrasi kamera. Sehingga koordinat foto dapat dikoreksi bila x_m, y_m merupakan ukuran fidusial pada positif, sedangkan x_c, y_c merupakan jarak fidusial terkalibrasi, maka koordinat foto pada titik “a” dapat dihitung sebagai berikut (Wolf dan Dewitt, 2000):

$$x'_a = \left(\frac{x_c}{x_m}\right) x_a$$

$$y'_a = \left(\frac{y_c}{y_m}\right) y_a \dots\dots\dots(2)$$

Dimana x'_a dan y'_a adalah koordinat foto terkoreksi dan x_a dan y_a merupakan koordinat terukur. Persamaan polinomial berdasarkan pada teori desain kamera adalah sebagai berikut (Wolf dan Dewitt, 2000):

$$\Delta x r = k_1 r^3 + k_2 r^5 + k_3 r^7$$

$$\Delta y r = k_1 r^3 + k_2 r^5 + k_3 r^7 \dots\dots\dots(3)$$

Atau,

$$d_r = k_1 r^3 + k_2 r^5 + k_3 r^7 + \dots \dots\dots(4)$$

Dimana istilah dari K_1 , K_2 dan K_3 merupakan koefisien dari distorsi radial lensa dan r merupakan jarak radial dari pusat foto terkalibrasi yang didapat dari (Wolf dan Dewitt, 2000):

$$r = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \dots\dots\dots(5)$$

Efek distorsi radial adalah sekitar 1 sampai 2 piksel di perbatasan CCD sensor. Dalam kaitannya dengan definisi distorsi itu sendiri K_1 , K_2 , K_3 dan antara *principle distance*. Hubungan antara distorsi radial dengan *principle distance* adalah dalam kaitannya sesuai *principle distance* dengan deviasi rata-rata akan dihitung menjadi minimum.

2. Distorsi *Decentering* (Distorsi Tangensial)

Distorsi tangensial atau distorsi *decentering* adalah pergeseran linier titik difoto pada arah normal (tegak lurus) garis radial melalui titik foto tersebut. Distorsi tangensial disebabkan kesalahan *centering* elemen-elemen lensa dalam satu gabungan lensa dimana titik pusat satu garis lurus. Pergeseran ini biasa dideskripsikan dengan 2 persamaan polinomial untuk pergeseran pada arah x (dx) dan y (dy) (Atikson, 2001).

$$\begin{aligned}d_x &= P_1[r^2 + 2(x - x_0)^2] + 2P_2(x - x_0)(y - y_0) \\d_y &= P_2[r^2 + 2(y - y_0)^2] + 2P_2(x - x_0)(y - y_0) \dots\dots\dots(6)\end{aligned}$$

Dimana P_1 dan P_2 merupakan koefisien dari parameter distorsi *decentering* yang nilainya tergantung dari nilai panjang fokus kamera. Efek dari distorsi *decentering* ini akan menyebabkan kesan hiperbolik pada foto yang terekam oleh kamera

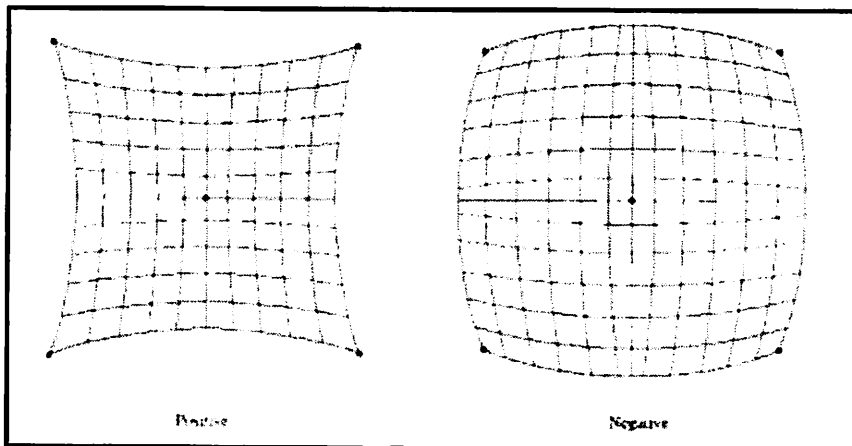
II.3 Kamera

Kamera pada fotogrametri digunakan untuk keperluan akuisisi data. Karena kamera diletakkan pada pesawat yang bergerak maka waktu pemotretan dan pemotretan ulang harus singkat, lensa bekerja dengan cepat dan penutup bekerja efisien (Wolf P. R., 1993). *Aperture* atau bukaan digunakan untuk mengatur intensitas cahaya yang masuk. *Aperture* berupa lubang yang besarnya dapat bervariasi. Semakin besar *aperture* maka semakin besar intensitas cahaya yang masuk dan waktu pemotretan obyek lebih cepat. Jika *aperture* besar, ketajaman obyek yang ditangkap akan berbeda tergantung jarak jauh atau dekat. Namun jika *aperture* kecil, ketajaman obyek yang ditangkap, baik jauh maupun dekat (*close-up*), akan tetap sama. Ini disebut dengan kedalaman medan. Kedalaman medan yaitu daerah jelajah bagi jarak obyek yang dapat diterima oleh lensa tanpa menimbulkan kemunduran nilai yang berarti bagi kejelasan gambar (Wolf P.R., 1993). Penutup (*shutter*) terbuka berdasarkan waktu pemotretan.

Hal yang sangat penting dari kamera untuk keperluan fotogrametri adalah kualitas geometri dari citra. Kualitas geometri yang rendah akan mengakibatkan ketidakakuratan posisi pada gambar yang dihasilkan. Fungsi utama suatu lensa adalah mengumpulkan berkas sinar yang berasal dari seluruh titik yang membentuk obyek dan mengumpulkannya ke arah titik api yang terletak pada jarak tertentu di sisi lain di balik lensa. Untuk menghasilkan gambar terbaik, umumnya lensa pada

kamera untuk keperluan foto udara tergabung dari beberapa lensa, dan sumbu optis dari semua lensa tersebut harus berimpit. Namun, untuk aplikasi fotogrametri menggunakan UAV kamera yang digunakan umumnya adalah kamera format kecil, bukan kamera metric ataupun kamera dirgantara yang disebutkan diatas. .

Ketidaktepurnaan lensa yang mengurangi kualitas gambar dinamakan aberasi (Wolf P.R.,1993). Aberasi berkaitan dengan ketajaman citra, *blur* atau tidaknya citra. Ada berapa aberasi lensa, yaitu: aberasi sferis, coma, astigmatisme dan lengkungan medan, serta aberasi kromatik. Berikut pengertian dari berbagai macam aberasi menurut Paul R. Wolf. Aberasi sferis dan coma adalah kemerosotan mutu gambar di sekitar sumbu lensa. Astigmatisme adalah keadaan dimana garis-garis yang saling tegak lurus yang terdapat pada objek tidak dapat tergambar secara jelas pembiasan bermacam-macam warna yang kemudian tidak berhasil mencapai fokus pada titik yang sama. Ketidaktepurnaan lensa yang mengurangi kualitas geometri dinamakan distorsi. Ada dua macam distorsi yaitu distorsi radial dan distorsi tangensial. Gambar 2.2 menunjukkan perbedaan efek dari distorsi radial ke arah luar (a) dan distorsi tangensial ke arah dalam (b).



Gambar 2.2 Distrosi Radial (Sumber Slide App03A_LensDist)

Distorsi yang terdapat pada suatu lensa tertentu dapat ditetapkan dengan pengujian kalibrasi dan dapat dilaksanakan pembetulan terhadap pengukuran-pengukuran untuk meniadakan pengaruh distorsi tersebut (Wolf P.R., 1993). Sebuah kamera yang digunakan untuk keperluan fotogrametri perlu dikalibrasi karena foto yang dihasilkan masih dipengaruhi oleh berbagai kesalahan akibat konstruksi kamera yang digunakan, sehingga berkas yang direstitusi tidak mewakili

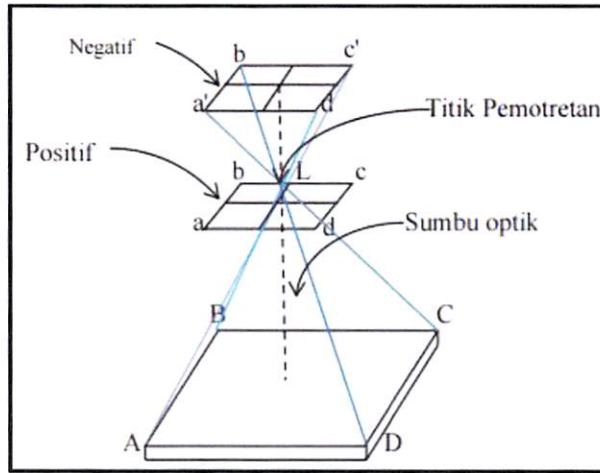
berkas saat pengambilan foto atau kondisi kesegarisan dari suatu titik di tanah dan titik tersebut di foto tidak dapat dipenuhi. Kalibrasi kamera ditujukan untuk memodelkan dan menentukan nilai distorsi dan konstanta sistem optik yang ada pada kamera. Laporan kalibrasi kamera antara lain berisikan: posisi titik utama (x_0 , y_0), panjang fokus (f), distorsi lensa radial dan tangensial, koordinat *fiducial mark* (khusus untuk kamera film), kedataran bidang citra, dan daya rinci lensa (*resolving power*). Terdapat berbagai macam teknik kalibrasi kamera, secara operasional teknik kalibrasi kamera dilakukan dengan tiga cara (Stensaas, 2007), yaitu, *in-laboratory*, *in-field*, dan *in-flight*.

II. 3.1 Foto Udara Format Kecil

Produk yang dihasilkan dari kamera format kecil adalah foto udara format kecil (FUFK), FUFK memiliki beberapa kelebihan yaitu peralatannya relatif murah, mudah didapatkan dan lebih fleksibel untuk mobilisasi. Namun, FUFK juga memiliki kelemahan. Kelemahan FUFK terletak pada sistem pencitraan. Lensa pada kamera format kecil tidak didesain untuk keperluan fotogrametri. Ketidaktepatan lensa berimbas pada kualitas gambar dan kualitas geometri (Wolf P.R.,1993).

Teknologi FUFK pada dasarnya adalah menghasilkan foto udara dengan menggunakan kamera non metrik/kamera amatir (kamera yang tidak didesain untuk keperluan pemotretan udara) dan menggunakan pesawat ringan (*ultraright*). Kamera format kecil memiliki sistem lensa yang tidak didesain untuk keperluan pemetaan sehingga disebut kamera non metrik dan harganya relatif murah, tetapi sangat potensial memiliki distorsi geometri (Belinda, 2013).

Foto udara yang dibuat dari pesawat terbang dengan arah sumbu optik kamera tegak lurus atau sangat mendekati tegak lurus disebut foto udara tegak. Meskipun telah diusahakan dengan hati-hati agar sumbu kamera tetap tegak lurus, tetapi adanya kesendengan (*tilt*) kecil masih dapat terjadi. Bagaimanapun juga, foto udara yang dianggap tegak lurus tersebut, biasanya mempunyai kesendengan dari 1° dan jarang melebihi 3° . Foto udara yang mengandung kesendengan kecil tak tersengaja semacam ini disebut foto udara sendeng (*tilted photograph*). Geometri foto udara format kecil pada dasarnya memiliki geometri foto udara tegak seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3 Geometri sebuah foto udara tegak (Wolf, 1983)

II. 3.2 Spesifikasi Kamera Sony Alpha ILCE A-5100

Kamera yang digunakan dalam penelitian ini adalah kamera berjenis *mirrorless* dengan tipe kamera Sony Alpha ILCE A-5100, gambar dibawah ini merupakan spesifikasi kamera Sony yang digunakan.

Basic Specifications	
Full model name:	Sony Alpha ILCE-A5100
Resolution:	24.30 Megapixels
Sensor size:	APS-C (23.5mm x 15.6mm)
Kit Lens:	3.13x zoom 16-50mm (24-75mm eq.)
Viewfinder:	No / LCD
Native ISO:	100 - 25,600
Extended ISO:	100 - 25,600
Shutter:	1/4000 - 30 seconds
Max Aperture:	3.5 (kit lens)
Dimensions:	4.3 x 2.5 x 1.4 in. (110 x 63 x 36 mm)
Weight:	14.1 oz (399 g) includes batteries, kit lens
Availability:	09/2014
Manufacturer:	Sony
Full specs:	Sony A5100 specifications

Gambar 2.4 Spesifikasi Kamera Sony Alpha ILCE A-5100 (Sumber : <http://www.imaging-resource.com/>)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini penulis akan menjelaskan bagaimana kajian ini dilakukan mulai dari persiapan alat dan bahan, lokasi penelitian hingga tahapan pelaksanaan penelitian ini.

III.1 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian adalah langkah awal dari proses pelaksanaan penelitian ini, alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Perangkat Lunak, antara lain:
 - a) Microsoft Office, terdiri dari Microsoft Word, Microsoft Excel yang digunakan dalam membantu mengolah data serta penulisan laporan penelitian.
 - b) Australis 6, perangkat lunak fotogrametri yang dalam penelitian ini digunakan sebagai proses kalibrasi kamera.

Peralatan pengukuran lapangan yaitu UAV dan sistem komponennya yang terdiri dari:

- a) Kamera format kecil yaitu kamera non-metrik *Sony Mirrorless Digital Camera Alpha ILCE-5100* dengan ukuran piksel 4000x6000 (*width 6000, height 4000*)



Gambar 3.1 Kamera Sony Mirrorles Digital Camera ILCE- α 5100

- b) *Fixed-Lens* dengan panjang fokus 35mm



Gambar 3.2 Fixed-Lens 35mm

III.2 Lokasi Penelitian

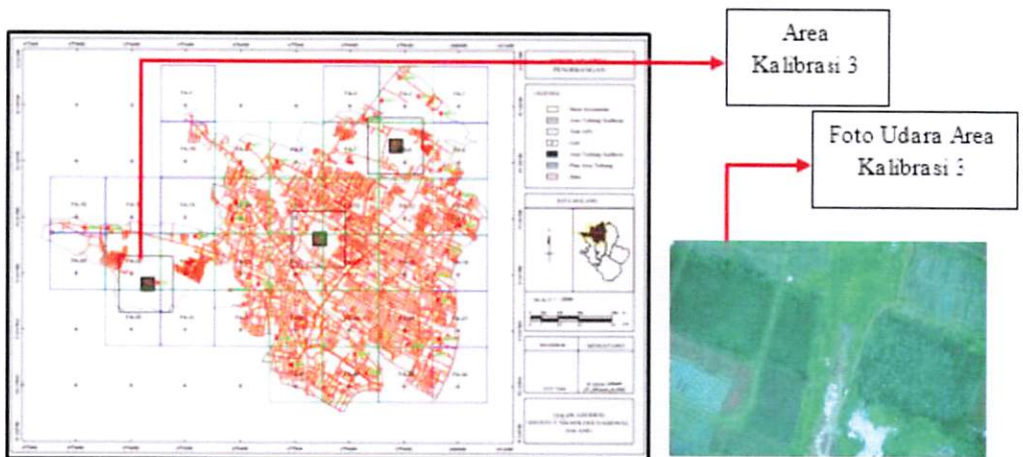
Lokasi penelitian yang dipakai dalam penelitian kali ini adalah mencakup 2 lokasi area penelitian, yaitu.

- a. lokasi kalibrasi kamera sebelum dan sesudah pemotretan di Gedung Geodesi Kampus ITN 1 Malang, dengan letak geografis $7^{\circ}57'28.24''\text{S}$ dan $112^{\circ}36'44.00''\text{E}$.



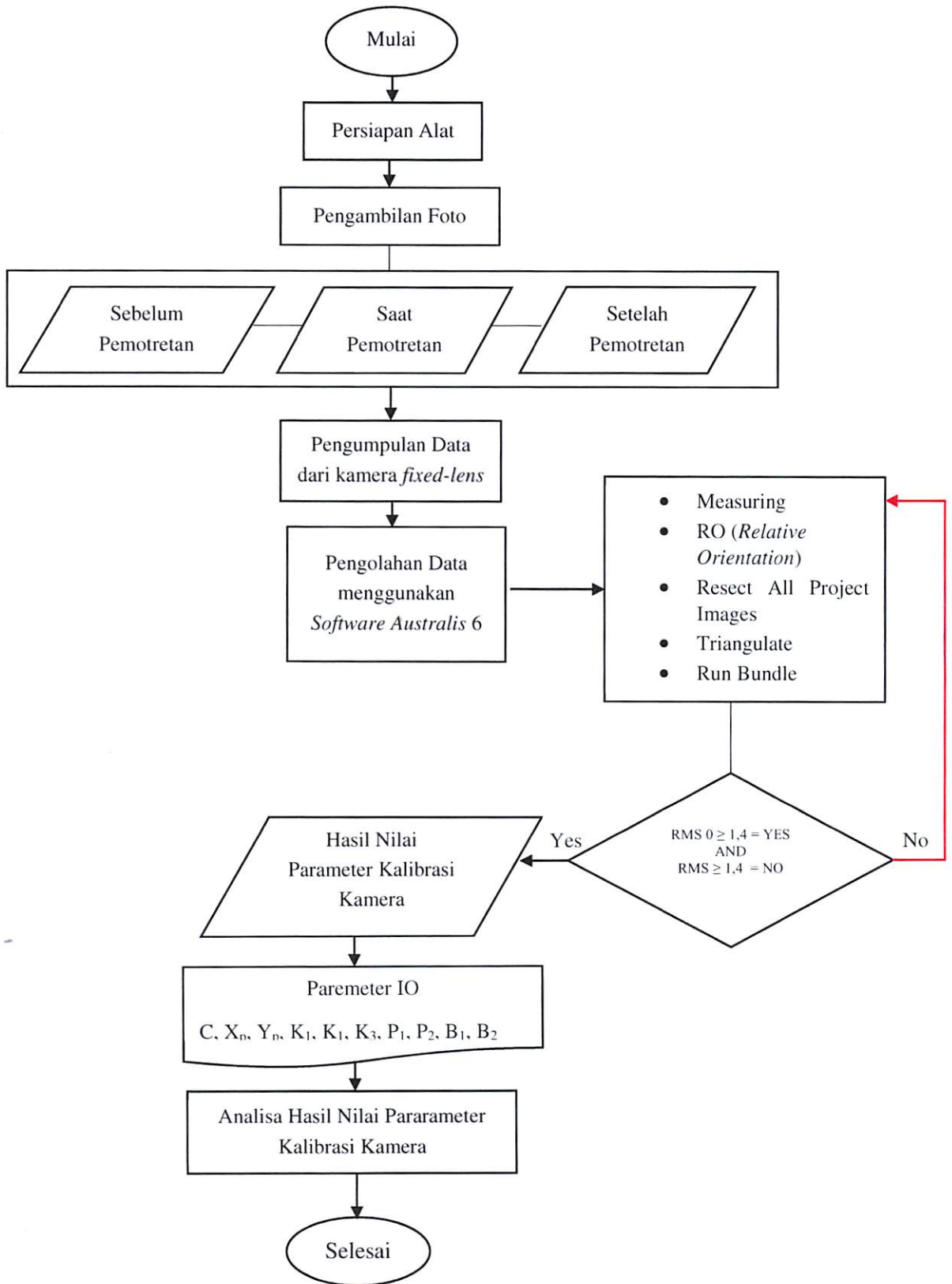
Gambar 3.3 Contoh Lokasi Kalibrasi Kamera Sebelum dan Sesudah Pemotretan

- b. lokasi kalibrasi kamera saat pemotretan di area kalibrasi 3 di daerah Perumahan Villa Bukit Tidar kelurahan Merjosari dengan letak geografis $7^{\circ}56'42.77''\text{S}$ dan $112^{\circ}35'10.67''\text{E}$.



Gambar 3.4 Contoh Lokasi Kalibrasi Kamera Saat Pemotretan

III.3 Diagram Alir Penelitian



III.4 Penjelasan Diagram Alur Penelitian

Pada bagian ini penulis akan menjelaskan diagram alur tahapan penelitian secara lebih detail sebagai berikut:

1. Persiapan Alat

Merupakan tahapan kedua dalam pelaksanaan penelitian ini, alat yang digunakan sebagai berikut:

- a. Kamera *Sony Mirrorless Digital Camera Alpha ILCE-5100* dengan lensa fiks 35mm.
- b. Retro yang dipasang pada gedung Geodesi Institut Teknologi Malang.



Gambar 3.5 Contoh Retro pada Gedung Geodesi ITN Malang

- c. Retro yang dipasang pada lapangan area kalibrasi 3.



Gambar 3.6 Contoh Retro pada Area Lapangan Kalibrasi 3

2. Pengambilan Foto

Dalam tahapan pengambilan data foto/gambar ini dibagi atas 3 bagian yaitu:

a. Sebelum pemotretan

Obyek yang digunakan adalah retron yang sudah dipasang pada gedung Geodesi, ITN Malang dengan teknik *Self-Calibration*. Proses pemotretan dilakukan dini hari sebelum pemotretan menggunakan pesawat *fixed-wing*.

b. Saat Pemotretan

Obyek yang digunakan adalah retro yang sudah mempunyai koordinat pada saat pemotretan udara menggunakan pesawat *fixed-wing*.

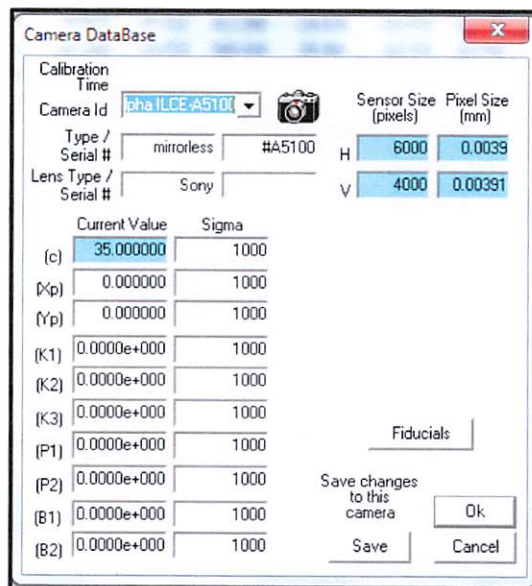
- c. Obyek yang digunakan adalah retron yang sudah dipasang pada gedung Geodesi, ITN Malang dengan teknik *Self-Calibration*. Proses pemotretan dilakukan malam hari setelah pemotretan menggunakan pesawat *fixed-wing*.

3. Pengumpulan Data

Pada tahapan penelitian ini proses pengumpulan data adalah untuk mengumpulkan semua data-data foto yang sudah diurutkan dan disesuaikan dalam satu folder, agar data penelitian ini lengkap dan siap untuk diolah.

4. Pengolahan Data menggunakan *Software Australis version 6*.

Setiap data foto yang sudah disiapkan akan langsung dapat diolah menggunakan *Software Australis version 6*, sebelum proses pertama yang dilakukan adalah untuk melengkapi kamera database sesuai dengan jenis dan tipe kamera yang digunakan. Dalam penelitian ini menggunakan kamera jenis *Sony Alpha ILCE-A5100* dengan panjang fokus fiks 35mm dan dimensi foto 4000(panjang)×6000(lebar), dan wajib mengisi nilai piksel size dalam satuan ukuran mm, untuk mendapatkan nilai piksel size tersebut digunakan rumus $\frac{\text{Sensor Size}}{\text{Dimensi Foto}} = \text{Piksel size}$.



Gambar 3.7 Window Camera Database

A. *Measuring*

Merupakan proses pembidikan pada titik retro yang telah dipasang pada gedung geodesi dan pada lapangan area kalibrasi 3 dan memiliki koordinat agar tersebut terdeteksi dalam *software australis*.

B. *Relative Orientation (RO)*

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.

C. *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*.

D. *Tiangulate*

Pada proses triangulasi ini semua foto yang sudah ada akan dilakukan proses *intersect* (memotong) nilai RMS seluruh foto. Jika hasilnya 0-1.4 maka hasil triangulasi ini dapat diterima.

E. *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 RMSnya lebih dari batas toleransi, jika hal ini terjadi harus mengulang proses kalibrasi kamera dari awal.

5. Nilai Parameter Kalibrasi Kamera

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 , K_1 , K_2 , K_3 , P_1 , P_2 , B_1 , B_2 , dan X_p , Y_p .

6. Analisa Hasil Nilai Parameter Kalibrasi Kamera

Setelah mendapatkan hasil nilai dari parameter kalibrasi kamera pada tahapan sebelumnya, kemudian hasil yang diperoleh akan dianalisa setelah itu dapat disimpulkan bahwa apakah nilai parameter kalibrasi kamera sebelum, saat dan sesudah pemotretan stabil atau tidak.

Output yang dikeluarkan pada *software* Australis 6 yang digunakan untuk parameter kalibrasi kamera IO adalah pada *Camera.txt*.

A. Sebelum pemotretan

Lakukan perbandingan antara nilai *Final Value* parameter IO dan nilai *Final Standard Error* parameter IO sebelum pemotretan, jika hasilnya nilai *Final Value* parameter IO tidak lebih besar dari nilai *Final Standard Error* parameter IO maka kamera dinyatakan stabil.

B. Saat pemotretan

Lakukan perbandingan antara nilai *Final Value* parameter IO dan nilai *Final Standard Error* parameter IO pada saat pemotretan, jika hasilnya nilai *Final Value* parameter IO tidak lebih besar dari nilai *Final Standard Error* parameter IO maka kamera dinyatakan stabil.

C. Setelah pemotretan

Lakukan perbandingan antara nilai *Final Value* parameter IO dan nilai *Final Standard Error* parameter IO setelah pemotretan, jika hasilnya nilai *Final Value* parameter IO tidak lebih besar dari nilai *Final Standard Error* parameter IO maka kamera dinyatakan stabil.

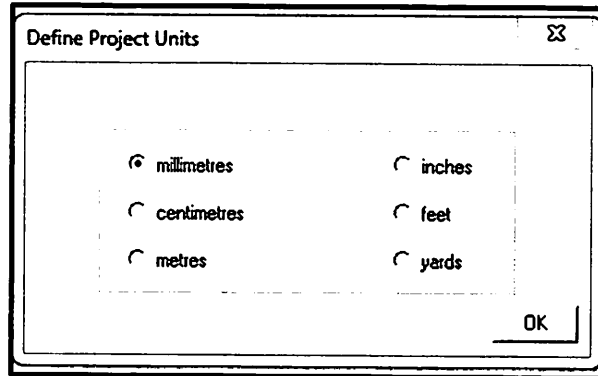
7. Stabil/ Tidak Stabil

Dilihat dari hasil proses analisa hasil nilai parameter kalibrasi kamera dapat ditentukan apakah kamera *fixed-lens* dengan panjang fokus (f) 35mm yang diambil pada tanggal 15 Maret 2016 untuk sebelum pemotretan, saat pemotretan dan sesudah pemotretan dinyatakan stabil/tidak stabil.

III.5 Langkah Kerja

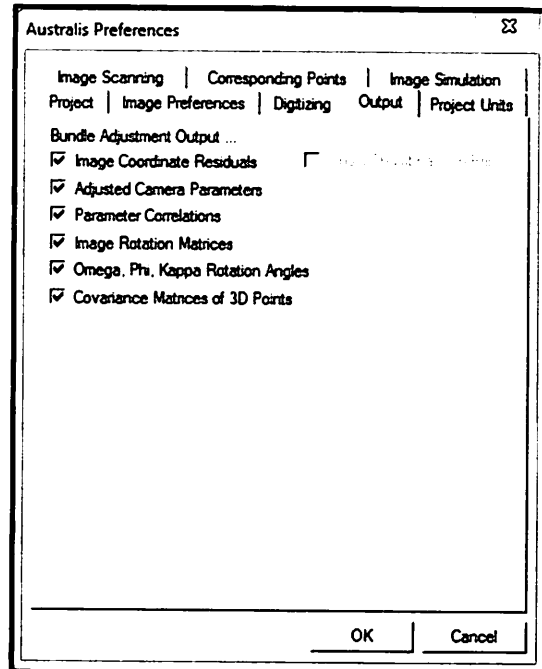
A. Persiapan Kalibrasi

Data foto bidang kalibrasi dan spesifikasi kamera disiapkan terlebih dahulu. Kemudian melakukan pengaturan pada perangkat lunak Australis 6 untuk parameter keluaran yang dibutuhkan, dengan cara buka program Australis 6 pada menu bar *File* → pilih *New* → pada jendela *Define Project Units* pilih *millimeters* → *OK*.



Gambar 3.8 Define Project Units

Pada menu *Project*, pilih *Preference* → muncul jendela *Australis Preference*. Pada *Tab Output* berikan *check list* untuk semua *Bundle Adjustment Output*, seperti pada gambar dibawah ini, kemudian klik *OK*.



Gambar 3.9 Australis Preferences

B. Input Nilai Pendekatan Kamera

Memasukan nilai pendekatan kamera yang diperoleh dari spesifikasi kamera *Sony Alpha ILCE A-5100* ke dalam *project* kalibrasi kamera yang berupa ukuran sensor dan ukuran piksel serta nilai panjang fokus (c) yang digunakan saat pemotretan.

Type Camera	Sony Alpha ILCE A-5100	
Sensor Size	6000 x 4000	piksel
Pixel Size	0.0039 x 0.00391	mm
Focal Length (c)	35	mm

Tahapannya meliputi, membuat *file* kamera *database*, dengan cara klik kanan pada kamera *Camera Database* pilih *Add Camera Database* → pada jendela *Camera Input*, masukan nilai **ukuran sensor** dan **ukuran piksel** serta nilai **panjang fokus (c)** yang digunakan saat pemotretan, setelah itu klik *OK*.

Camera Input

Camera Id: Sony Alpha ILCE A5100

Type / Serial #: mirrorless #A-5100

Lens Type / Serial #: Sony

Sensor Size (pixels): H: 6000, V: 4000

Pixel Size (mm): H: 0.0039, V: 0.00391

Parameters:

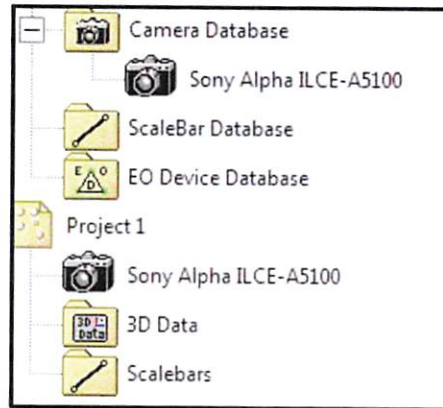
- (c): 35
- (Xp):
- (Yp):
- (K1):
- (K2):
- (K3):
- (P1):
- (P2):
- (B1):
- (B2):

Metric

Ok Cancel

Gambar 3.10 Camera Input

Selanjutnya *file* kamera yang telah dibuat dalam *database* dimasukkan kedalam *project*, dengan cara klik kanan pada *file camera* (*Sony Alpha ILCE-A5100*) geser ke folder *project 1*.

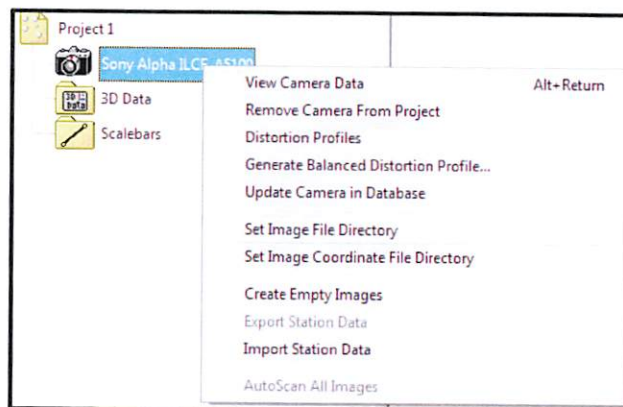


Gambar 3.11 Proses Input data Project 1

Pada menu *Project 1* pilih *Save As File* pada *folder* yang sama dengan foto-foto yang akan digunakan, maka nilai pendekatan kamera telah tersimpan dalam *project Australis* yang digunakan untuk proses kalibrasi kamera.

C. Input Foto Bidang Kalibrasi

Memasukan foto bidang kalibrasi kedalam *project Australis*, dengan cara klik kanan pada *file kamera* yang terdapat dalam *project*, kemudian pilih *Set Image File Directory*, klik *Open*.



Gambar 3.12 Proses Add Data

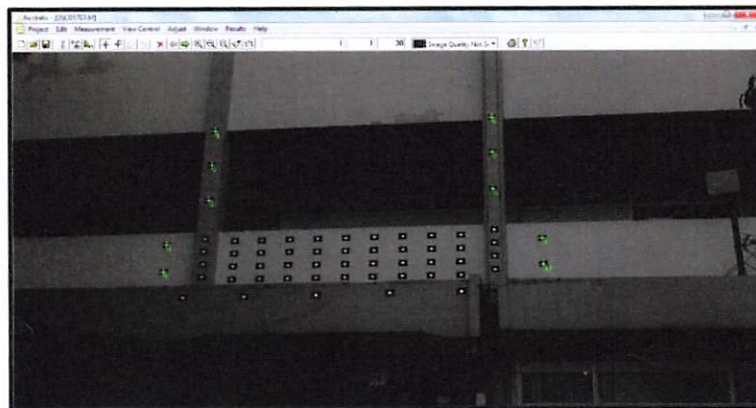
Tunggu proses *Convert JPG Image* sampai selesai. Maka foto bidang kalibrasi masuk dalam *project* dalam format TIFF.

ImageName	X	Y	Z	Azimuth	Elevation	Roll	Observation	
Image001	0.220	89.404	19.285	0.186	0.345	0.006	10	
Image002	0.776	48.136	78.802	0.284	2.479	-0.033	10	
Image003	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image004	0.975	133.139	89.507	11.680	0.012	2.973	10	
Image005	0.954	70.1	96.885	26.114	12.522	1.534	27.038	10
Image006	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image007	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image008	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image009	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image010	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image011	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image012	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image013	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image014	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image015	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image016	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image017	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image018	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image019	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image020	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image021	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image022	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image023	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image024	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image025	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image026	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image027	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image028	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image029	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image030	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image031	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image032	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image033	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image034	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image035	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image036	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image037	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image038	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image039	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image040	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image041	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image042	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image043	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image044	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image045	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image046	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image047	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image048	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image049	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image050	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image051	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image052	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image053	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image054	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image055	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image056	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image057	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image058	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image059	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image060	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image061	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image062	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image063	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image064	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image065	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image066	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image067	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image068	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image069	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image070	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image071	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image072	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image073	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image074	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image075	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image076	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image077	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image078	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image079	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image080	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image081	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image082	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image083	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image084	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image085	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image086	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image087	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image088	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image089	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image090	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image091	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image092	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image093	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image094	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image095	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image096	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image097	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image098	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image099	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	
Image100	0.520	38.867	1.623	2.623	4.336	-20.362	10	

Gambar 3.13 Data Berhasil Dimasukan

D. Ekstraksi Titik *Retro-Reflective*

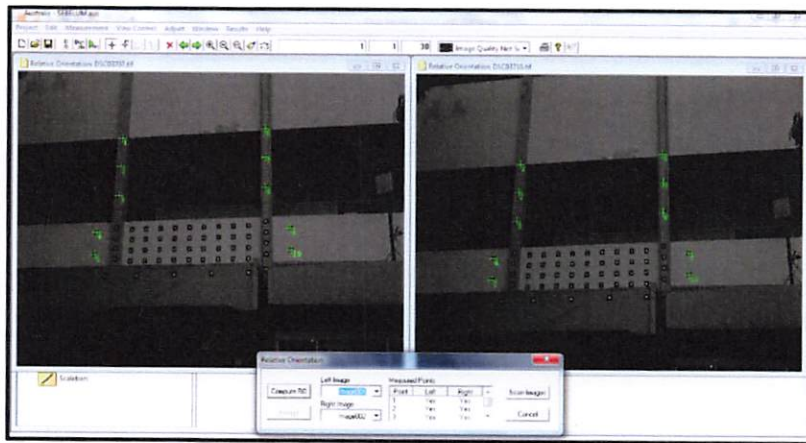
Melakukan ekstraksi titik *retro-reflective* menggunakan metode *centroid*. Metode *centroid* adalah metode yang mendefinisikan titik-titik berdasarkan nilai pusat *centroid* pada sebuah target dengan memperhitungkan nilai tingkat keabuan (grey scale) pada tiap piksel. Tahapannya meliputi, buka *file* foto yang terdapat pada *project* → pilih *panel measure*, kemudian melakukan ekstraksi titik retro pada foto bidang kalibrasi.



Gambar 3.14 Proses Ekstraksi Titik Retro-Reflective

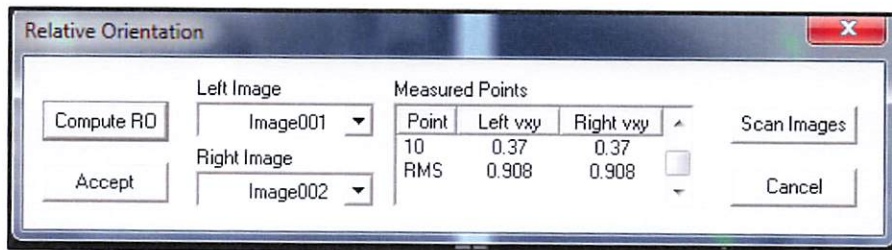
E. *Relative Orientation*

Proses ini adalah mengorientasikan foto satu terhadap foto lainnya berdasarkan pengikatan titik hasil ekstraksi titik retro sebelumnya. Tahapannya meliputi, pada *menu bar Adjust* → *Relative Orientation*, kemudian muncul jendela *Relative Orientation*.



Gambar 3.15 Input foto Relative Orientation

Pada jendela *Relative Orientation* → tab *Left Image* diisi dengan Image001 dan tab *Right Image* diisi dengan Image002 → *Compute RO*. Apabila nilai *measure point* $\leq 1\text{mm}$, maka klik *Accept*. Jika tidak sesuai, maka proses diulangi dengan konfigurasi foto dan ekstrasi titik yang lain.



Gambar 3.16 Hasil Relative Orientation

Setelah proses ini dilakukan, secara otomatis muncul file *RO Array* pada folder *3D Data*. Lakukan *Compute RO* pada semua foto dengan menggunakan *Image001* sebagai acuan.

F. Reseksi

Reseksi adalah proses penentuan parameter orientasi luar (EO) berupa posisi kamera. Tahapannya meliputi, pada menu *Adjust*, pilih *Resect All Project Image*, kemudian muncul jendela *Resection Summary* → *OK*.

Station	RMS(um)	Used Points
Image001	0.6	10
Image002	1.5	10
Image003	0.5	10
Image004	0.7	10
Image005	0.6	10
Image006	0.8	10
Image007	0.6	10
Image008	0.6	10
Image009	0.5	10
Image010	0.8	10

Gambar 3.17 Hasil Reseksi

G. BASC (*Bundle Adjustment Self Calibration*)

Menggunakan teknik BASC dalam menentukan EO, IO dan koordinat obyek secara bersamaan, dengan cara klik menu *Adjust* → *Run Budle*. Kemudian muncul jendela *Bundle Adjustment*, klik *Go*. Jika lampu menyala hijau, klik *Accept*. Jika berwarna merah lakukan pengulangan proses ekstrasi dan reseksi. Setelah selesai, lakukan penyimpanan *project* kedalam direktori penyimpanan dengan cara pilih panel *Save* pada *menu bar*.

Bundle Adjustment

Summary: Images: 10, Points: 10, Control Points: Free Net, Scalebars: 0

Status: Adjustment successful, Iteration: 5, Processing: Point: 10, Label: 10

Go, Accept, Reject (Traffic light indicator: Green)

Statistics: Rejection Limit: 2.49, Rejections: 1, Degrees of Freedom: 105, Residual RMS: 0.66, Sigma0: 1.82

RMS of Object Coordinate Standard Errors: X: 0.207, Y: 0.238, Z: 0.251

Adjustment Controls

Gambar 3.18 Hasil Run Bundle

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini diperoleh beberapa hasil penelitian yang meliputi hasil kalibrasi kamera pada waktu sebelum pemotretan, saat pemotretan, dan sesudah pemotretan dengan menggunakan kamera *Sony Alpha ILCE A-5100* dengan lensa fiks 35mm pada tanggal 15 Maret 2016 yang berlokasi di Gedung Geodesi ITN Malang kampus 1 dan di area kalibrasi 3 di daerah Perumahan Villa Bukit Tidar kelurahan Merjosari

IV.1 Kalibrasi Kamera

Pengolahan kalibrasi kamera yang diolah dengan menggunakan bantuan *software* Australis 6 akan mengeluarkan output yang digunakan dalam penelitian ini yaitu nilai parameter orientasi dalam (*Interior Orientation*).

IV.2 Parameter Interior Orientation (IO)

Dalam pengolahan yang dilakukan dengan menggunakan *software* Australis 6, hasil yang akan dianalisa dalam penelitian ini adalah dari nilai parameter orientasi dalam (*Interior Orientation*). Dari hasil yang didapatkan maka penulis dapat menguji kestabilan dengan kamera *Sony Alpha ILCE-A5100* dengan lensa fiks 35mm pada saat sebelum pemotretan, saat pemotretan dan sesudah pemotretan.

A. Dibawah ini merupakan tabel hasil parameter IO sebelum pemotretan.

Tabel 4.1 Parameter IO Sebelum Pemotretan

SEBELUM PEMOTRETAN			
Camera Variable	Final Value	Final Standard Error	Satuan
C	34,7495	2,26E-01	mm
X _p	-01233	1,24E-01	mm
Y _p	-0,3756	1,26E-01	mm
K ₁	-3,37E-05	4,61E-05	mm
K ₂	3,91E-07	9,98E-07	mm
K ₃	9,97E-10	7,32E-09	mm
P ₁	-2,61E-05	4,06E-05	mm
P ₂	2,40E-05	4,26E-05	mm
B ₁	3,11E-03	2,68E-04	mm
B ₂	-5,88E-04	2,46E-04	mm

B. Dibawah ini merupakan tabel hasil parameter IO saat pemotretan.

Tabel 4.2 Parameter IO Saat Pemotretan

SAAT PEMOTRETAN			
Camera Variable	Final Value	Final Standard Error	Satuan
C	35.661	6.46E-01	mm
X _p	0.2684	3.51E-01	mm
Y _p	-1.5595	3.44E-01	mm
K ₁	1.25E-04	2.33E-05	mm
K ₂	-1.30E-06	2.77E-07	mm
K ₃	4.65E-09	1.03E-09	mm
P ₁	-9.61E-05	4.59E-05	mm
P ₂	9.16E-05	7.86E-05	mm
B ₁	5.15E-03	1.13E-03	mm
B ₂	-9.38E-04	1.40E-03	mm

C. Dibawah ini merupakan tabel hasil parameter IO setelah pemotretan.

Tabel 4.3 Parameter IO Setelah Pemotretan

SETELAH PEMOTRETAN			
Camera Variable	Final Value	Final Standard Error	Satuan
C	35.3454	2.95E-01	mm
X _p	0.1404	1.90E-01	mm
Y _p	-0.2653	2.04E-01	mm
K ₁	-7.68E-05	7.94E-05	mm
K ₂	1.53E-06	1.83E-06	mm
K ₃	-7.37E-09	1.40E-08	mm
P ₁	-7.82E-05	6.26E-05	mm
P ₂	-1.80E-04	8.60E-05	mm
B ₁	5.56E-03	7.00E-04	mm
B ₂	3.23E-04	5.51E-04	mm

IV.3 Hasil Uji Stabilitas Parameter Interior Orientation (IO)

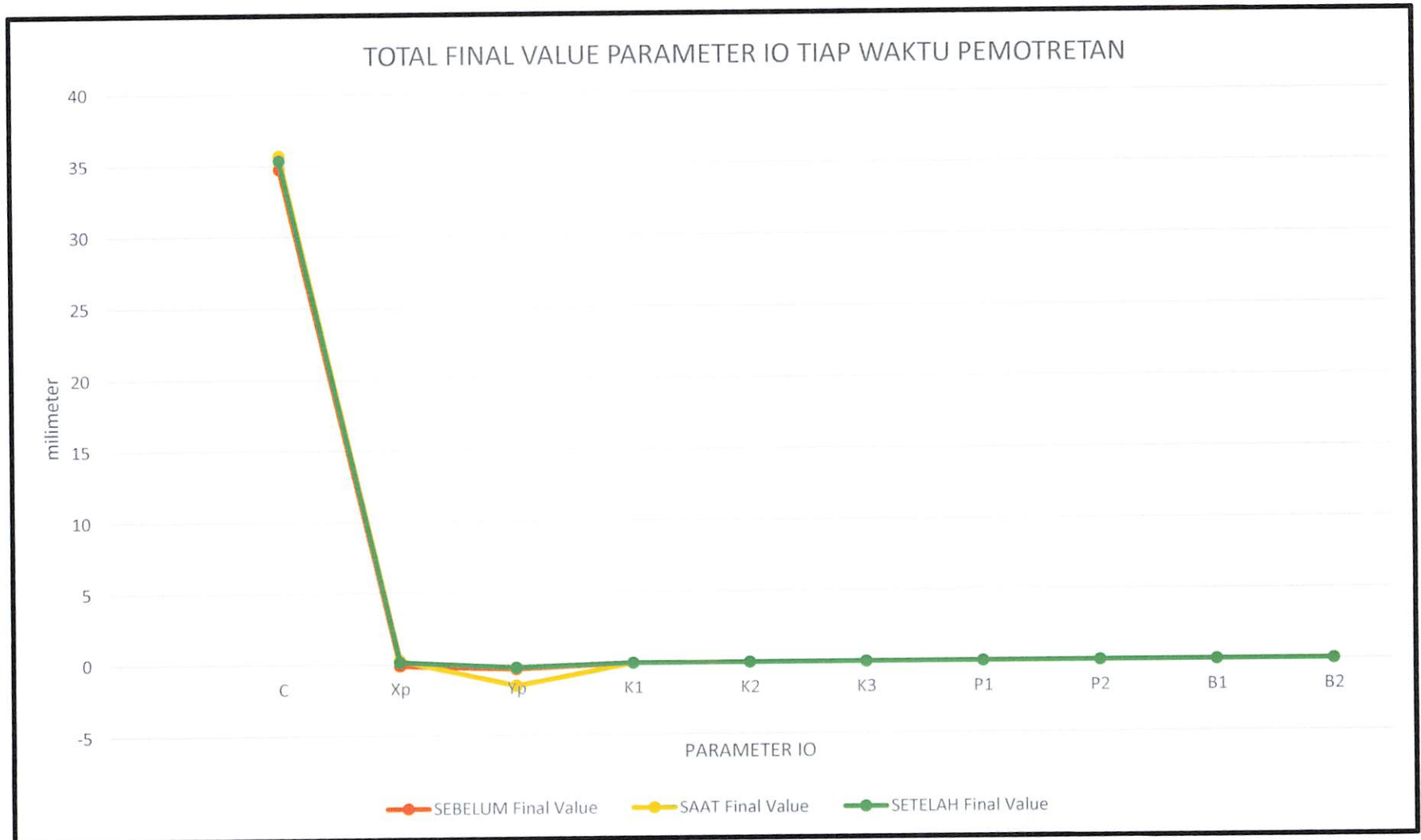
A. Hasil total *final value* tiap waktu pemotretan

Tabel 4.4 Total Final Value tiap waktu pemotretan

Camera Variable	SEBELUM PEMOTRETAN	SAAT PEMOTRETAN	SETELAH PEMOTRETAN	Satuan
	Final Value	Final Value	Final Value	
C	34,7495	35,661	35,3454	mm
X _p	-0,1233	0,2684	0,1404	mm
Y _p	-0,3756	-1,5595	-0,2653	mm
K ₁	-3,37E-05	1,25E-04	-7,68E-05	mm
K ₂	3,91E-07	-1,30E-06	1,53E-06	mm
K ₃	9,97E-10	4,65E-09	-7,37E-09	mm
P ₁	-2,61E-05	-9,61E-05	-7,82E-05	mm
P ₂	2,40E-05	9,16E-05	-1,80E-04	mm
B ₁	3,11E-03	5,15E-03	5,56E-03	mm
B ₂	-5,88E-04	-9,38E-04	3,23E-04	mm

Sesuai dengan tabel diatas pada nilai parameter pokok IO yaitu panjang fokus kamera (c) dan X_p, Y_p adalah nilai parameter yang lebih signifikan mengalami pergeseran karena beberapa faktor.

Gambar 4.1 Total Final Value tiap waktu pemotretan



Pada gambar 4.1 diatas adalah gambar grafik total *final value* parameter IO tiap waktu pemotretan yaitu sebelum, saat dan setelah pemotretan.

Seperti pada gambar diatas bahwa terlihat perubahan *final value* sebelum pemotretan (orange), saat pemotretan (kuning) dan sesudah pemotretan (hijau) mengalami perbedan/ketidakstabilan yang lebih signifikan pada nilai panjang fokus kamera (C), X_p dan Y_p yang merupakan nilai dari *Principal Point* (PP), sedangkan untuk parameter K_1 , K_2 , K_3 , P_1 , P_2 , dan B_1 , B_2 masih terlihat stabil.

Ketidakstabilan kamera non-metrik diakibatkan oleh beberapa faktor, salah satunya karena mengalami getaran/guncangan dari pesawat dan tekanan udara. Maka dari itu kalibrasi kamera harus sesekali dilakukan untuk mengetahui kesalahan-kesalahan pada nilai parameter kalibrasi kamera.

Seperti pada tabel 4.2 dibawah ini, hasil *final value* setiap pemotretan dibandingkan dengan *final standard error* tiap pemotretan, dengan hasil yang didapat dalam penelitian ini bahwa nilai kalibrasi kamera IO pada sebelum pemotretan, saat dan sesudah pemotretan mengalami pergeseran yang signifikan.

Untuk penelitian yang dilakukan pada tanggal 15 Maret 2016 untuk kalibrasi kamera pada sebelum pemotretan, saat pemotretan dan setelah pemotretan untuk area kalibrasi 3 dapat dinyatakan bahwa kestabilan dari kamera *Sony Alpha Mirroless ILCE-A5100* dengan lensa fiks 35 mm “**TIDAK STABIL**” karena untuk kamera non metrik yang digunakan dalam penelitian ini nilai parameter kalibrasi kamera khususnya untuk parameter IO sebelum pemotretan, saat pemotretan hingga setelah pemotretan mengalami pergeseran nilai parameter kalibrasi kamera *Interior Orientation*. Ketidakstabilan lebih signifikan terjadi pada parameter pokok IO yaitu nilai panjang fokus kamera (C) dan posisi *principal point* (X_p, Y_p) karena nilai X_p, Y_p merupakan proyeksi dari pusat lensa ke bidang sensor yang cenderung tidak stabil diakibatkan oleh getaran pesawat atau tekanan udara. Sedangkan untuk parameter $K_1, K_2, K_3, P_1, P_2, B_1, B_2$ mengalami perubahan karena berhubungan dengan lensa kamera oleh karena itu pada nilai parameter ini cenderung stabil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari hasil yang diperoleh pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa terjadi ketidakstabilan pada panjang fokus kamera dengan melihat terjadinya perubahan yang signifikan pada 3 waktu pemotretan kalibrasi kamera (sebelum, saat dan sesudah) pada nilai kalibrasi kamera *Interior Orientation* (IO) dengan melihat parameter pokok utama parameter *Interior Orientation* (IO) yaitu panjang fokus kamera (c), dan nilai yang mendekati stabil dari 3 waktu pemotretan tersebut adalah pada waktu sebelum pemotretan.

V.2 Saran

Pada penelitian ini tentu masih banyak kekurangan yang perlu diperbaiki. Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya agar lebih baik antara lain:

- A. Pemilihan kamera yang baik perlu diperhatikan, mengingat panjang fokus kamera saat dibeli berbeda dengan pada saat kamera digunakan.
- B. Kalibrasi kamera harus sering-sering dilakukan untuk mengetahui jumlah pergeseran-pergeseran yang terjadi khususnya untuk parameter Interior Orientasi.
- C. Khususnya untuk kalibrasi kamera pada saat pemotretan udara, diharapkan menggunakan alat penyangah yang lebih kokoh untuk menopang kamera, karena salah satu faktor terjadinya ketidak-stabilan suatu kamera diakibatkan oleh guncangan pesawat pada saat pemotretan udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriyanti, R. 2005. *Pembuatan Peta Foto Dengan Metode Mosaik Semi Terkontrol Menggunakan Foto Udara Format Kecil Non Metrik*. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Atkinson, K. B. 2001. *Close Range Photogrammetry and Mechine Vision*. Whittles Publishing. Scotland, UK
- Belinda, D.P., 2013. *Estimasi Volume Sedimen Lahar Dingin Disebagian Kali Gendol Gunung Merapi Menggunakan Foto Udara Format Kecil*. Universitas Gajah Mada
- Fraser, C.S., 1997. *Digital Camera Self-Calibration*. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 52.
- Gularso, Herjuno. 2013. *Uji Pemotretan Udara Menggunakan Pesawat Model Skywalker 1690*. Skripsi. Tidak Diterbitkan
- Hanifa, N. R., 2007. *Studi Penggunaan Kamera Digital Low-Cost Non-Metrik Auto-Focus Untuk Pemantauan Deformasi*. Departemen Teknik Geodesi ITB. Bandung
- Moe, Donald., Sampath, A., Christopherson, J., & Benson, M. 2010. *Self Calibration of Small and Medium Format Digital Cameras*, pp 395-397
- Photometrix. 2007. *Australis User Guide V8*. Australia
- Shortis, M. R., & Snow, W. L. 1995. *Calibration of CCD Cameras for Field and Frame Captures Modes*. *Conference on Digital Photogrammetry and Remote Sensing. Conference on Digital and Remote Sensing' 95*, St. Petersburg-Great Lakes, Russia
- Stensaas, G. L., 2007. *U.S Geological Survey Digital Aerial Mapping Camera Certification and Quality Assurance Plan for Digital Imagery*. Photogrammetric Week
- Tjahjadi, E., 2008. *Ketelitian Pengukuran dari Kamera Non Metrik*, Institut Teknologi Nasional, Malang
- Wigrata, H. 1986. *Kalibrasi Besaran-besaran Panjang Fokus dan Distorsi Lensa pada Kamera Non-Metrik*. Departemen Teknik Geodesi ITB. Bandung.

Wolf, P. R. 1993. *Elemen Fotogrametry*. Gajah Mada University Press.
Yogyakarta.

LAMPIRAN

A. HASIL PARAMETER IO UNTUK SEBELUM PEMOTRETAN

Australis Bundle Adjustment Results: Camera Parameters

14 August, 2016 11:47:11

Project: D:\kuliah\materi kuliah\TA\LIDYA RIHINAWA\data
skripsi\FIX\SEBELUM KALIBRASI 3\SEBELUM.aus

Adjustment: Free-Network

Number of Points: 10

Number of Images: 10

RMS of Image coords: 0.66 (um)

Results for Camera 1 Sony Alpha ILCE-A5100 Lens Sony

Sensor Size	Pixel Size (mm)
H 6000	0.004
V 4000	0.004

Camera	Initial	Total	Final	Initial	Final
Variable	Value	Adjustment	Value	Std. Error	Std. Error
C	34.7495	0.00000	34.7495	1.0e+003	2.257e-001 (mm)
XP	-0.1233	-0.00000	-0.1233	1.0e+003	1.242e-001 (mm)
YP	-0.3756	-0.00000	-0.3756	1.0e+003	1.257e-001 (mm)
K1	-3.37003e-005	1.463e-009	-3.36989e-005	1.0e+003	4.609e-005
K2	3.91070e-007	-3.663e-011	3.91033e-007	1.0e+003	9.948e-007
K3	9.96702e-010	3.166e-013	9.97018e-010	1.0e+003	7.316e-009
P1	-2.61403e-005	-2.686e-011	-2.61403e-005	1.0e+003	4.064e-005
P2	2.40019e-005	1.755e-009	2.40036e-005	1.0e+003	4.261e-005
B1	3.10674e-003	-1.429e-010	3.10674e-003	1.0e+003	2.683e-004
B2	-5.88394e-004	-1.389e-009	-5.88395e-004	1.0e+003	2.457e-004

Maximum Observational Radial Distance Encountered: 8.5 mm

Exterior Orientation Summary (Xc, Yc, Zc are in project units, rotations are in decimal degrees)

Station	Image	Xc	Yc	Zc	Alpha	Elev.	Roll
1	Image001	-0.19389	39.40044	-19.57581	0.186215	-0.340541	0.056351
2	Image002	8.80737	48.13719	-78.91267	0.264863	2.482801	-0.031967
3	Image003	15.09156	36.68227	-3.93443	2.621562	-0.329627	-28.390731
4	Image004	-970.08738	110.13490	-89.82671	-11.080071	0.016150	2.573159
5	Image005	-954.67443	96.67607	-26.43358	-12.510073	1.538198	27.107619
6	Image006	-1568.12816	447.32474	-131.87128	-21.573328	1.613611	3.154332
7	Image007	-1561.28738	448.68031	-189.15213	-22.918074	1.090806	1.627366
8	Image008	-1544.91514	499.54373	-65.01770	-20.625794	1.210974	1.738752
9	Image009	-1562.78833	443.16767	-126.43077	-22.690980	0.689885	-23.399086
10	Image010	-1564.59256	442.64952	-127.35552	-20.919071	2.809920	27.956355

B. HASIL PARAMETER IO UNTUK SAAT PEMOTRETAN

Australis Bundle Adjustment Results: Camera Parameters

25 July, 2016 14:51:00

Project: D:\kuliah\materi kuliah\TA\LIDYA RIHINAWA\data skripsi\Bismillah Australis terbaru\Gabungan Miring dan Tegak\DIPAKAI KALIBRASI 3\KALIBRASI 3.aus

Adjustment: Free-Network

Number of Points: 8

Number of Images: 8

RMS of Image coords: 1.30 (um)

Results for Camera 1 Sony Alpha ILCE-A5100 Lens Sony

Sensor Size	Pixel Size (mm)
H 6000	0.004
V 4000	0.004

Camera	Initial	Total	Final	Initial	Final
Variable	Value	Adjustment	Value	Std. Error	Std. Error
C	35.0000	0.66607	35.6661	1.0e+003	6.464e-001 (mm)
XP	0.0000	0.26837	0.2684	1.0e+003	3.514e-001 (mm)
YP	0.0000	-1.55952	-1.5595	1.0e+003	3.436e-001 (mm)
K1	0.00000e+000	1.246e-004	1.24554e-004	1.0e+003	2.327e-005
K2	0.00000e+000	-1.303e-006	-1.30253e-006	1.0e+003	2.766e-007
K3	0.00000e+000	4.646e-009	4.64563e-009	1.0e+003	1.027e-009
P1	0.00000e+000	-9.606e-005	-9.60579e-005	1.0e+003	4.586e-005
P2	0.00000e+000	9.158e-005	9.15829e-005	1.0e+003	7.859e-005
B1	0.00000e+000	5.150e-003	5.15002e-003	1.0e+003	1.133e-003
B2	0.00000e+000	-9.385e-004	-9.38470e-004	1.0e+003	1.396e-003

Maximum Observational Radial Distance Encountered: 12.6 mm

Exterior Orientation Summary (Xc, Yc, Zc are in project units, rotations are in decimal degrees)

Station	Image	Xc	Yc	Zc	Alpha	Elev.	Roll
1	Image001	662.11768	-32.53278	337.72154	2.386356	-2.170555	158.270240
2	Image002	15.43343	-34.88186	-59.64216	0.002505	-0.970947	-0.182484
3	Image003	967.44571	62.17822	-193.27045	-0.492541	0.835424	-2.420013
4	Image004	778.55376	-78.63530	-435.87475	6.268152	1.007450	107.018474
5	Image005	65.81544	-97.15169	412.56644	-24.829466	-	13.723229 -11.699076
6	Image006	-385.28542	-77.77153	540.42648	-30.300971	-	13.735194 -14.753627
7	Image007	-820.85039	-90.46620	615.98712	-24.987752	-	11.733391 -9.373071
8	Image008	-1243.97107	-127.22922	721.47796	-35.502655	-	8.833523 -16.149199

C. HASIL PARAMETER IO UNTUK SETELAH PEMOTRETAN

Australis Bundle Adjustment Results: Camera Parameters

25 July, 2016 15:53:17

Project: D:\kuliah\materi kuliah\TA\LIDYA RIHINAWA\data
skripsi\FIX\SETELAH KALIBRASI 3\SETELAH.ans

Adjustment: Free-Network

Number of Points: 10

Number of Images: 9

RMS of Image coords: 0.89 (um)

Results for Camera 1 Sony Alpha ILCE-A5100 Lens Sony

Sensor Size Pixel Size (mm)

H 6000 0.004

V 4000 0.004

Camera	Initial	Total	Final	Initial	Final
Variable	Value	Adjustment	Value	Std. Error	Std. Error
C	35.0000	0.34536	35.3454	1.0e+003	2.953e-001 (mm)
XP	0.0000	0.14042	0.1404	1.0e+003	1.899e-001 (mm)
YP	0.0000	-0.26533	-0.2653	1.0e+003	2.039e-001 (mm)
K1	0.00000e+000	-7.681e-005	-7.68148e-005	1.0e+003	7.941e-005
K2	0.00000e+000	1.526e-006	1.52555e-006	1.0e+003	1.834e-006
K3	0.00000e+000	-7.375e-009	-7.37485e-009	1.0e+003	1.404e-008
P1	0.00000e+000	-7.820e-005	-7.82029e-005	1.0e+003	6.256e-005
P2	0.00000e+000	-1.796e-004	-1.79629e-004	1.0e+003	8.600e-005
B1	0.00000e+000	5.563e-003	5.56290e-003	1.0e+003	6.995e-004
B2	0.00000e+000	3.232e-004	3.23247e-004	1.0e+003	5.507e-004

Maximum Observational Radial Distance Encountered: 8.2 mm

Exterior Orientation Summary (Xc, Yc, Zc are in project units, rotations are in decimal degrees)

Station	Image	Xc	Yc	Zc	Alpha	Elev.	Roll
1	Image001	-80.81179	-45.69854	25.03545	-1.200448	-0.713583	-0.001288
2	Image002	-78.28005	-50.13555	22.85127	-0.517493	0.600972	-0.602568
3	Image003	-58.57780	-9.97537	85.75955	-1.665034	-0.701967	0.227039
4	Image004	-89.85314	-62.33727	50.27864	-1.696615	-1.454516	-22.679135
5	Image005	-1067.11696	121.00064	-24.07952	-12.112671	1.717038	1.856242
6	Image006	-1099.47261	111.53074	21.63109	-12.709622	0.786480	-18.120190
7	Image007	-1039.76867	99.40951	36.23561	-12.242322	1.034204	28.949696
8	Image008	-1802.89884	138.32428	-45.01189	-22.367803	0.528428	7.102817
9	Image009	-1792.27805	197.51649	120.28176	-21.961621	0.131384	3.4567

D. HASIL PARAMETER IO TIAP WAKTU PEMOTRETAN

SEBELUM PEMOTRETAN			SAAT PEMOTRETAN			SETELAH PEMOTRETAN			Satuan
Camera Variable	Final Value	Final Standard Error	Camera Variable	Final Value	Final Standard Error	Camera Variable	Final Value	Final Standard Error	
C	34,7495	2,26E-01	C	35,661	6,46E-01	C	35,3454	2,95E-01	mm
X _p	-0,1233	1,24E-01	X _p	0,2684	3,51E-01	X _p	0,1404	1,90E-01	mm
Y _p	-0,3756	1,26E-01	Y _p	-1,5595	3,44E-01	Y _p	-0,2653	2,04E-01	mm
K ₁	-3,37E-05	4,61E-05	K ₁	1,25E-04	2,33E-05	K ₁	-7,68E-05	7,94E-05	mm
K ₂	3,91E-07	9,98E-07	K ₂	-1,30E-06	2,77E-07	K ₂	1,53E-06	1,83E-06	mm
K ₃	9,97E-10	7,32E-09	K ₃	4,65E-09	1,03E-09	K ₃	-7,37E-09	1,40E-08	mm
P ₁	-2,61E-05	4,06E-05	P ₁	-9,61E-05	4,59E-05	P ₁	-7,82E-05	6,26E-05	mm
P ₂	2,40E-05	4,26E-05	P ₂	9,16E-05	7,86E-05	P ₂	-1,80E-04	8,60E-05	mm
B ₁	3,11E-03	2,68E-04	B ₁	5,15E-03	1,13E-03	B ₁	5,56E-03	7,00E-04	mm
B ₂	-5,88E-04	2,46E-04	B ₂	-9,38E-04	1,40E-03	B ₂	3,23E-04	5,51E-04	mm