

## **SKRIPSI**

# **PEMBUATAN PROGRAM SELF CALIBRATING BUNDLE ADJUSTMENT MENGGUNAKAN SOFTWARE MATLAB UNTUK APLIKASI FOTO UDARA UAV**

**(Studi kasus : Titik Kalibrasi Areal Persawahan Kampus II ITN Malang)**



**JURUSAN TEKNIK GEODESI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2013**

8349

REPUBLICAN LEADERSHIP CONFERENCE  
LAWYERS AND JUDGES  
CONFERENCE

NAME : [REDACTED]  
ADDRESS : [REDACTED]

PHONE NO. :

(NAME) (ADDRESS) (PHONE NO.) (CITY) (STATE) (ZIP CODE)

MEMBER OF THE CONFERENCE

MEMBERSHIP INFORMATION  
MEMBERSHIP INFORMATION

CONFERENCE

# LEMBAR PENGESAHAN

## *Judul Skripsi:*

**“Pembuatan Program *Self Calibrating Bundle Adjustment* Menggunakan Software Matlab Untuk Aplikasi Foto Udara UAV”**

Dipertahankan di hadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi Jenjang Starata Satu (S1) pada :

Hari : Selasa

Tanggal : 20 Februari 2013

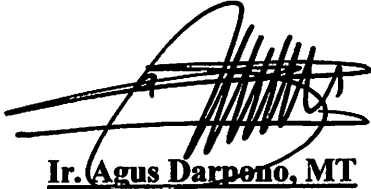
Dan diterima untuk memenuhi salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Teknik.

## Disusun Oleh :

**Muliawan  
08.25.006**

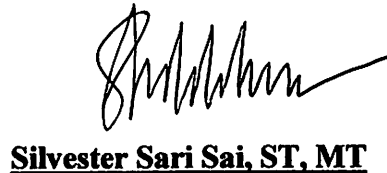
## Panitia Ujian Tugas Akhir

**Ketua**



**Ir. Agus Darpeno, MT**

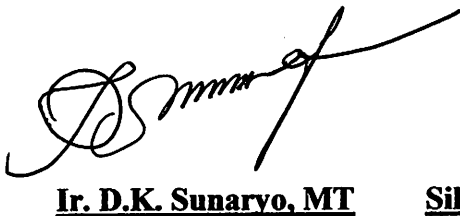
**Sekretaris**



**Silvester Sari Sai, ST, MT**

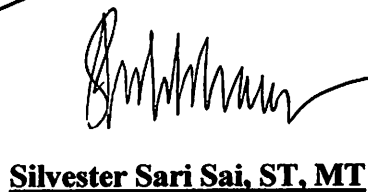
## Anggota Penguji

**Penguji I**



**Ir. D.K. Sunarvo, MT**

**Penguji II**



**Silvester Sari Sai, ST, MT**

**Penguji III**



**Dr. Edwin Tjahjadi, ST. M.Geo.Sc**

**JURUSAN TEKNIK GEODESI**

**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL**

**MALANG**

**2013**

**LEMBAR PERSETUJUAN**  
**SKRIPSI**

*Judul Skripsi:*

**“Pembuatan Program *Self Calibrating Bundle Adjustment* Menggunakan  
Software Matlab Untuk Aplikasi Foto Udara UAV”**

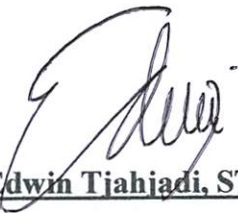
Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Geodesi S1  
Institut Teknologi Nasional Malang

**Disusun Oleh :**

**Muliawan  
08.25.006**

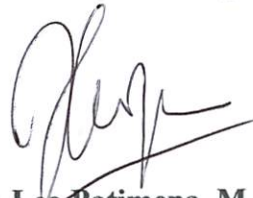
Meyetujui,

Dosen Pembimbing I



**Dr. Edwin Tjahjadi, ST. M.GEOM.SC**

Dosen Pembimbing II



**Ir. Leo Patimena, M.Sc**

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Geodesi S-1



**Ir. Agus Darpono, MT**



## ABSTRAKSI

Proses perhitungan kalibrasi kamera non metrik, memiliki peranan penting dalam fotogrametri. Sehingga pada tulisan kali ini akan diuraikan sebuah teknik untuk mendapatkan nilai parameter kalibrasi kamera non metrik yaitu menggunakan metode *Self Calibrating Bundle Adjustment*. Untuk mendapatkan nilai parameter kalibrasi diperlukan data pendekatan awal berupa parameter *interior orientation*, *exterior orientation*, *object space point* dan koordinat foto, yang akan meminimalisir kesalahan sistematis pada kamera non metrik yang disebabkan tidak stabilnya bidang CCD kamera. Hasil dari proses *Self Calibrating Bundle Adjustment* ini adalah parameter *interior orientation* terkoreksi, parameter *exterior orientation* terkoreksi, parameter *object space point* terkoreksi yang nantinya akan ditularkan ke tiap-tiap foto.

**Kata kunci :** *Interior Orientation, Exterior Orientation, Object Space Point, Self Calibrating Bundle Adjustment.*

**PERNYATAAN KEASLIAN  
SKRIPSI**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

**Nama** : **Muliawan**

**NIM** : **08.25.006**

**Program Studi** : **Teknik Geodesi S-1**

**Fakultas** : **Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi saya dengan judul :

**“Pembuatan Program *Self Calibrating Bundle Adjustment* Menggunakan  
Software Matlab Untuk Aplikasi Foto Udara UAV”**

adalah hasil karya saya sendiri, bukan merupakan duplikat, copy, salinan maupun saduran, kecuali beberapa kalimat kutipan dan gambar yang telah disebutkan sumbernya.

Malang,  
Yang membuat pernyataan

Muliawan  
08.25.006

## **KATA PENGANTAR**

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah S.W.T atas limpahan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga dapat terselesaikannya penulisan skripsi dengan judul “Pembuatan Program Self Calibrating Bundle Adjustment Menggunakan Software Matlab Untuk Aplikasi Foto Udara UAV”.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik Geodesi (S1) di Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang.

Dalam kesempatan ini pula, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas dukungan dan bantuan kepada yang terhormat :

1. Bapak Ir. Soeparno Djwo, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Agus Santosa, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ir. Agus Darpono, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Dr. Edwin Tjahjadi, ST., MGeom.Sc. selaku Dosen Pembimbing I serta sebagai Dosen Penguji.
5. Bapak Leo Patimena, ST., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II.
6. Bapak Silvester Sari Sai, ST., MT. Selaku Dosen Penguji.
7. Bapak Ir. D.K. Sunaryo, MT. Selaku Dosen Penguji

8. Segenap dosen, staff pengajar dan rekording Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang.
9. Rekan-rekan Mahasiswa/i dan alumni Teknik Geodesi.
10. Semua pihak yang langsung maupun tidak langsung turut membantu dalam proses penelitian maupun penyusunan laporan Tugas Akhir ini.

Penulis sadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, sehingga penulis sangat mengharapkan berbagai saran dan kritik dalam perbaikan skripsi ini.

Malang,

Penulis

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Nilai Awal Parameter Kalibrasi .....	69
Tabel 4.2 Nilai Awal Parameter EO .....	70
Tabel 4.3 Nilai Awal Parameter Koordinat OSP .....	70
Tabel 4.4 Nilai Koordinat Foto 1 .....	72
Tabel 4.5 Nilai Koordinat Foto 2 .....	73
Tabel 4.6 Nilai Koordinat Foto 3 .....	75
Tabel 4.7 Nilai Koordinat Foto 4 .....	76
Tabel 4.8 Nilai Koordinat Foto 5 .....	78
Tabel 4.9 Nilai Koordinat Foto 6 .....	79
Tabel 4.10 Nilai Koordinat Foto 7 .....	81
Tabel 4.11 Nilai Koordinat Foto 8 .....	82
Tabel 4.12 Nilai Koordinat Foto 9 .....	84
Tabel 4.13 Nama Fungsi, Input Data dan Output Data .....	86
Tabel 4.14 Parameter Kalibrasi Kamera .....	93
Tabel 4.15 Parameter <i>Exterior Orientation</i> .....	94
Tabel 4.16 Akurasi Parameter <i>Exterior Orientation</i> .....	94
Tabel 4.17 Parameter Koordinat <i>Object Space Point</i> .....	95
Tabel 4.18 Akurasi Parameter Koordinat <i>Object Space Point</i> .....	96
Tabel 4.19 Hasil Selisih Parameter EO Awal dengan Parameter EO Terkoreksi .....	98
Tabel 4.20 Hasil Selisih Koordinat <i>Object Space Point</i> Awal dengan Koordinat <i>Object Space Point</i> Terkoreksi .....	99

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Interior Orientasi Kamera .....	7
Gambar 2.2 Rotasi pada sumbu x sebesar $\omega$ .....	9
Gambar 2.3 Rotasi pada sumbu y sebesar $\phi$ .....	9
Gambar 2.4 Rotasi pada sumbu z sebesar $\kappa$ .....	10
Gambar 2.5 Sistem koordinat piksel vs sistem koordinat foto .....	14
Gambar 2.6 Kondisi kesejarisan atau kolinier .....	16
Gambar 2.7 Kondisi koplantar untuk dua buah foto .....	20
Gambar 2.8 Distorsi Radial .....	26
Gambar 2.9 Distorsi tangensial .....	27
Gambar 2.10 Distorsi Affinity .....	28
Gambar 2.11 Elemen dari orientasi luar .....	30
Gambar 2.12 Rotasi Omega, Phi dan Kappa .....	30
Gambar 2.13 Rotasi pertama omega terhadap sumbu x .....	31
Gambar 2.14 Rotasi kedua phi terhadap sumbu y .....	31
Gambar 2.15 Rotasi ketiga kappa terhadap sumbu z .....	32
Gambar 2.16 Reseksi foto yang bertampalan pada Aerial Photogrammetry .....	35
Gambar 2.17 Reseksi foto yang bertampalan pada Close Range Photogrammetry .....	36
Gambar 2.18 Struktur persamaan normal dengan parameter tambahan .....	44
Gambar 3.1 Camera Canon S90 .....	49
Gambar 3.2 Pesawat UAV .....	50
Gambar 3.3 Skema Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian .....	52
Gambar 3.4 Pemasangan Tiang Bendera .....	58

Gambar 3.5 Titik Poligon .....	58
Gambar 3.6 Titik-titik Kalibrasi .....	59
Gambar 3.7 Pengambilan Data Foto Menggunakan Pesawat UAV .....	59
Gambar 3.8 Hasil Pemotretan Pesawat UAV .....	60
Gambar 3.9 Tampilan Awal Australis .....	61
Gambar 3.10 Define Project Units .....	62
Gambar 3.11 Australis Preferences .....	62
Gambar 3.12 Camera Input .....	63
Gambar 3.13 Project dengan Id Camera yang sama .....	64
Gambar 3.14 Penyimpanan Project .....	64
Gambar 3.15 Penginputan Data Foto .....	65
Gambar 3.16 Proses Ekstraksi Data Koordinat Foto .....	66
Gambar 3.17 Proses Relative Orientation .....	66
Gambar 3.18 Proses Relative Orientation Failed .....	67
Gambar 4.1. Tampilan aplikasi Program Self Calibrating Bundle Adjustment ..	88
Gambar 4.2 Tampilan Awal Matlab R2008b .....	89
Gambar 4.3 Tampilan Matlab R2008b .....	89
Gambar 4.4 Tampilan Awal Program SCBA .....	90
Gambar 4.5 Proses Input Data .....	91
Gambar 4.6 Hasil Plotting Program SCBA .....	91
Gambar 4.7 Penyimpanan Hasil Program SCBA .....	92
Gambar 4.8 Hasil penyimpanan Program SCBA dalam file *.txt .....	93
Gambar 4.9 Hasil Plotting Program SCBA .....	101
Gambar 4.10 Hasil Dijitasi Menggunakan Australis .....	101



## LEMBAR PERSEMBAHAN

Puji syukur yang tak terhingga kepada Allah AWT atas Rahmat, Hidayah dan Karunia yang diberikan untuk saya. Shalawat serta salam saya berikan untuk junjungan Nabi besar Muhammad SAW, yang telah menjadi Suri Tauladan yang baik untuk Umatnya dalam kehidupan.

### To My Family

Terima kasih yang tak terhingga untuk ibu saya yang telah memberikan dukungan, motivasi dan do'a sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Serta saudara-saudara saya yang saya cintai,. Kalian semua adalah pemberi spirit untuk masa depan yang lebih baik,.



### To Kasihku "Elia Sopiani"

Terima kasih atas dukungannya selama ini, sayang adalah inspirasi terbesar untuk dapat segera menyelesaikan skripsi ini.

### To Sahabatku

Untuk sahabat-sahabat saya Arman, Yani, Iwan, Ade, Dwi, Feri dan Masmuk terima kasih bantuannya, sukses buat kalian.

### To Teman-teman Seperjuanganku "Geodesi 2008"

Buat Ane, Tamrin, Roni, Rizal, Fajar, Reza, Pras, Adi, Dian, Wawan, Dedy, Ayu, Chici, Osti, Prilin, Tan, Ken, Kristo, Rusli, Eka,..Singkatnya untuk kalian semua maaf yaa tidak bisa disebutkan semua karena kertasnya gk muaatt,..Saya yakin kalian semua akan segera menyusul,.karena kalianlah saya bisa sampai titik ini,..u all the best my friends,..

### To all Geodesi ITN Malang

Teruntuk adek-adek tingkat saya semangat terus buat menyelesaikan studinya ya, jangan menyerah,..jangan berlama-lama menimba ilmu di dunia kerja, cukup ambil pengalaman dan sekedar duit buat beli nasi lalapan..... lulus lebih cepat lebih baik. ....hehe. Terima kasih saya ucapkan juga buat teman-teman Transferan, sukses buat kalian semua .Matursuwun. Sukses buat Geodesi ITN Malang.

### And Special Thanks for My Hero

Moh. Tanzil, ST terima kasih atas bantuan dan konsultasinya selama ini semoga kita bisa menjadi partner kerja yang solid,..amiinn,.. Dan buat mas ricky dan mas hasan terima kasih telah meminjamkan saya laptop sehingga saya bisa menyelesaikan skripsi ini,. Sukses selalu buat seniaorku,..

### Motto :

"Gantungkanlah cita-citamu setinggi langit,. Jangan setinggi tali jemuran".  
"Berani bermimpi besar dengan usaha yang besar dan kesuksesan yang besar".

## DAFTAR ISI

<b>Lembar Pengesahan</b> .....	i
<b>Lembar Persetujuan</b> .....	ii
<b>Abstraksi</b> .....	iii
<b>Pernyataan Keaslian</b> .....	iv
<b>Kata Pengantar</b> .....	v
<b>Daftar Gambar</b> .....	vii
<b>Daftar Tabel</b> .....	viii

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Tinjauan Pustaka .....	3

### BAB II DASAR TEORI

2.1 Kalibrasi .....	6
2.1.1 <i>Pengertian Kalibrasi</i> .....	6
2.2 Parameter Kamera .....	6
2.2.1 <i>Parameter Interinsik (Interior Orientation)</i> .....	7
2.2.2 <i>Parameter Eksterinsik (Exterior Orientation)</i> .....	8
2.3 Ekstraksi Data Koordinat Foto .....	13
2.3.1 <i>Metode Sentroid</i> .....	13
2.3.2 <i>Konversi Koordinat Piksel Ke Foto</i> .....	14
2.4 Persamaan Umum Fotogrametri .....	15
2.4.1 <i>Persamaan Kolinier (Collinearity Equation)</i> .....	16
2.4.2 <i>Persamaan Koplanar</i> .....	19
2.5. Kalibrasi Kamera .....	24
2.5.1 <i>Distorsi Radial</i> .....	25
2.5.2 <i>Distorsi Tagensial</i> .....	27

2.5.3 Distorsi Affinity .....	28
2.6 Interior Orientation .....	29
2.7 Eksterior Orientation .....	29
2.8 Reseksi .....	33
2.9 Interseksi .....	35
2.10 Self Calibrating Bundle Adjustment .....	36
2.10.1 Persamaan Observasi .....	36
2.10.2 Matrik Bobot Observasi .....	37
2.10.3 Model Matematika .....	39
2.10.4 Linierisasi Persamaan Kolinier .....	39
2.10.5 Desain Matrik Self Calibrating Bundle Adjustment .....	40
2.11 Program Matlab .....	45

### **BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN**

3.1 Persiapan .....	48
3.1.1 Materi Penelitian .....	48
3.1.2 Alat Penelitian .....	49
3.2 Pelaksanaan Penelitian .....	50
3.3 Keterangan Diagram Alir .....	53
3.3.1 Pengumpulan Data .....	53
3.3.2 Proses Perhitungan .....	53
3.3.2.1 Perhitungan Matrik Rotasi ( $R$ ) .....	53
3.3.2.2 Perhitungan Matrik $A_1, A_2, A_3, f, w$ .....	54
3.3.2.3 Perhitungan Matrik $N_{11}, N_{12}, N_{13}, N_{21}, N_{22}, N_{23}, N_{31}, N_{32}, N_{33}$ $C_1, C_2, C_3, G$ .....	55
3.3.2.4 Menghitung Matrik Koreksi ( $\delta_1, \delta_2$ dan $\delta_3$ ) .....	56
3.3.2.5 Menghitung Nilai Residu ( $v$ ) .....	56
3.3.2.6 Menghitung Nilai Akhir .....	57
3.3.2.7 Menghitung Ketelitian Varian-Kovarian .....	57
3.4 Pengambilan Data Foto Kalibrasi .....	57
3.5 Ekstraksi Data Foto Menggunakan Software Australis .....	60



## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Data Parameter Awal .....	69
4.2 Hasil Penelitian .....	85
4.2.1 Aplikasi dan Listing Kode Pemrograman .....	85
4.2.2 Prosedur Pengoprasian Program Matlab Self Calibrating Bundle <i>Adjusment</i> .....	88
4.2.3 Hasil Perhitungan Self Calibrating Bundle <i>Adjusment</i> .....	93
4.3 Pembahasan .....	98
4.3.1 Analisa Hasil Perhitungan Self Calibrating Bundle <i>Adjusment</i> .....	98
4.3.1 Keunggulan dan Kelemahan Penggunaan Matlab R2008b .....	102

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	104
5.2 Saran .....	105

## **DAFTAR PUSTAKA**

**Lampiran-A Data Foto**  
**Lampiran-B Data Parameter Awal**  
**Lampiran-C Data Hasil Perhitungan**  
**Lampiran-D List Code Program Aplikasi**



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Parameter Awal	89
4.2 Hasil Perhitungan	88
4.2.1 Aplikasi dan Log Kode Program	88
4.2.2 Prosedur Pengujian Program	88
4.2.3 Hasil Perhitungan	88
4.3 Pembahasan	98
4.3.1 Analisis Hasil Perhitungan	98
4.3.2 Kesimpulan dan Rekomendasi	102

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	104
5.2 Saran	105

## DAFTAR PUSTAKA

- Lampiran-A Data Foto
- Lampiran-B Data Parameter Awal
- Lampiran-C Data Hasil Perhitungan
- Lampiran-D List Kode Program Aplikasi

MILIK  
PUSAT  
MILITARI

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada era informasi seperti sekarang ini, perkembangan teknologi Penginderaan Jauh (PJ) dan Sistem Informasi Geografis (SIG) semakin pesat. Perkembangan tersebut ditandai oleh perkembangan sensor (Kamera, *scanner*, hingga *hyperspectral*). Pengelolaan dan penanganan data, maupun keragaman aplikasinya (Wolf and Dewitt, 2004). Salah satu aplikasi dari penginderaan jauh adalah pada bidang ilmu fotogrametri.

Fotogrametri ialah ilmu, seni dan teknologi untuk memperoleh ukuran terpercaya dari foto udara (Kiefer, 1993). Dari pengertian tersebut obyek yang dikaji adalah kenampakan dari foto udara dengan menginterpretasinya menggunakan sistem Penginderaan jauh. Akan tetapi analisis fotogrametri dapat berkisar dari pengukuran jarak, luas dan elevasi dengan alat atau teknik, sampai menghasilkan berupa peta topografi (Kiefer, 1993). Aplikasi fotogrametri yang paling utama adalah untuk survei dan kompilasi peta topografi berdasarkan pengukuran dan informasi yang diperoleh dari foto udara atau citra satelit. Meskipun fotogrametri merupakan sebagian dari kegiatan pemetaan, tetapi fotogrametri merupakan jantung kegiatan tersebut karena fotogrametri merupakan cara deliniasi yang aktual atas detil peta.

Kegiatan fotogrametri berupa pengukuran dan pembuatan peta berdasarkan foto udara. Karena yang diukur berupa obyek-obyek yang tergambar pada foto udara, perlu pula pengenalan atas obyek-obyek tersebut. Oleh karena itu

dalam fotogrametri juga dipelajari tentang cara pengambilan foto, kalibrasi kamera, ekstraksi data foto sampai dengan proses *absolute orientasi*.

Dalam beberapa tahun terakhir kita dapat melihat sebuah perkembangan dalam penggunaan metode *close range photogrammetry* dalam berbagai aplikasi teknik. Dengan menggunakan kamera resolusi tinggi yang digabungkan dengan beberapa persyaratan antara lain *network design*, *camera calibration* dan *bundle adjustment* akan menghasilkan tingkat pengukuran dengan akurasi tinggi (Shirkhani et al., 2006).

Sesuai dengan diskusi yang pernah dilakukan oleh (Tjahjadi, 2008b), untuk memperoleh hasil ukuran yang memiliki tingkat akurasi, presisi dan reabilitas yang tinggi maka kamera non metrik harus dilakukan kalibrasi, karena adanya kesalahan sistematik yang terdapat pada kamera non metrik yang harus dihilangkan atau diminimalkan pengaruhnya terhadap ketelitian titik-titik obyek.

## 1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana mendesain program *self calibrating bundle adjustment* dengan menggunakan prinsip kolineariti untuk menentukan parameter kalibrasi kamera yang meliputi internal kamera (IO) yaitu *principal distance* ( $f$ ), titik pusat fidusial foto ( $x_0, y_0$ ), distorsi lensa ( $K_1, K_2, K_3, P_1$  dan  $P_2$ ) dan distorsi *affinity* ( $b_1, b_2$ ), serta menentukan parameter EO ( $X_L, Y_L, Z_L, \omega, \phi, \kappa$ ) yang terkoreksi sehingga didapat hasil koordinat *object space* ( $X_A, Y_A, Z_A$ ) yang seakurat mungkin.



### 1.3 Tujuan Penelitian

Membuat desain program menggunakan *software Matlab R2008b* untuk melakukan proses *self calibrating bundle adjustment* dengan menggunakan prinsip kolineariti, untuk mendapatkan nilai parameter internal kamera (IO), distorsi lensa ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $P_1$  dan  $P_2$ ) dan distorsi *affinity* ( $b_1$ ,  $b_2$ ) serta menentukan nilai parameter orientasi luar (EO) yang terkoreksi, yaitu tiga sudut rotasi ( $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$ ), dan koordinat posisi pemotretan ( $X_L$ ,  $Y_L$ ,  $Z_L$ ) dan nilai parameter koordinat *object space* ( $X_A$ ,  $Y_A$ ,  $Z_A$ ) yang terkoreksi.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini yaitu melakukan ekstraksi data foto UAV menggunakan *software Australis* untuk mendapatkan nilai parameter pendekatan kamera antara lain : parameter dalam (*interior orientation*) meliputi koordinat foto ( $x_0, y_0$ ) dan panjang fokus ( $f$ ), mendapatkan nilai parameter orientasi luar (*exterior orientation*) terdiri dari tiga koordinat posisi kamera ( $X_L, Y_L, Z_L$ ) dan tiga parameter sudut rotasi *omega* ( $\omega$ ), *phi* ( $\varphi$ ), dan *kappa* ( $\kappa$ ), tiga koefisien distorsi radial ( $K_1$ ,  $K_2$ , dan  $K_3$ ), dua koefisien distorsi tangensial ( $P_1$  dan  $P_2$ ), dan dua koefisien distorsi *affinity* ( $b_1$  dan  $b_2$ ) serta membuat desain algoritma *self calibrating bundle adjustment* dan menerapkan algoritma tersebut kedalam bahasa Matlab.

### 1.5 Tinjauan Pustaka

Beberapa tinjauan pustaka telah dilakukan dalam menyusun penelitian, guna mengumpulkan informasi mengenai *self calibrating bundle adjustment* yang

didasarkan atas berbagai riset oleh para ilmuwan dalam bidang *close range photogrammetry* antara lain :

Menurut *Brown(1974), Heindl(1981), Schut(1980), and Triggs et al.(2000a)* *Bundle adjustment* adalah proses penentuan atau perhitungan parameter IO, EO dan koordinat obyek secara serempak bersamaan dengan menggunakan teknik hitung kuadrat terkecil (*Tjahjadi, 2008b*).

Keakurasian (*precision + reliability/kehandalan*) dari titik-titik obyek (di bumi), yaitu  $\delta x$ ,  $\delta y$ ,  $\delta z$ , dengan menggunakan kamera non metrik tergantung dari beberapa faktor, antara lain: Parameter kalibrasi kamera, parameter orientasi dalam, parameter orientasi luar, konfigurasi pemotretan, dan teknik perhitungan koordinat objek-objek dan parameter kamera (*Tjahjadi, 2008a*).

Menurut Mikhail dan Gracie (1981), Cooper (1987), dalam *surveying* dan *close range photogrammetry*, data ukuran lebih selalu dibutuhkan untuk presisi tinggi, realibilitas dan statistik. Ini berarti jumlah observasi harus lebih dari parameter *unknown* yang akan dicari untuk mendapatkan solusi yang unik (*Wang and Clarke, 1999*). Dalam dekade sepuluh tahun terakhir teknik *Bundle Adjustment* ini menjadi cara yang paling efisien untuk memproses data pemotretan seperti yang dilaporkan oleh *Triggs et al.(2000b)*.

Ada beberapa kelebihan menggunakan teknik *bundle adjustment* dalam perhitungan parameter-parameter dalam *close range photogrammetry*, yaitu *Triggs et al.(2000b)* :

- a. *Flexibilitas* : *Bundle adjustment* dapat dengan baik memecahkan berbagai masalah antara lain berbagai bentuk 3D dan tipe kamera (titik, garis, kurva, *surface*, non-metrik, metrik, dsb), berbagai tipe skema (termasuk model

dinamik dan artikulasi, skema *constraints*), sumber informasi (fitur 2D, tingkat intensitas, informasi 3D) dan error models. Tidak bermasalah dengan *missing data*.

- b. Akurasi : *Bundle Adjustment* memberikan hasil yang presisi dan mudah dalam interpretasinya karena menggunakan model kesalahan statistik secara akurat.
- c. Efisiensi : Algoritma *bundle* yang telah matang dan relatif efisien meskipun pada permasalahan yang sangat besar.



## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Kalibrasi

##### 2.1.1 Pengertian Kalibrasi

Menurut wikipedia kalibrasi adalah proses verifikasi bahwa suatu akurasi alat ukur sesuai dengan rancangannya. Kalibrasi biasa dilakukan dengan membandingkan suatu standar yang tertelusur dengan standar nasional maupun internasional dan bahan-bahan acuan tersertifikasi.

Sedangkan pengertian kalibrasi menurut ISO/IEC Guide 17025 adalah serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrumen ukur atau sistem pengukuran, atau nilai yang diwakili oleh bahan ukur, dengan nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dari besaran yang diukur dalam kondisi tertentu. Dengan kata lain, kalibrasi adalah kegiatan untuk menentukan kebenaran konvensional nilai penunjukkan alat ukur dan bahan ukur dengan cara membandingkan terhadap standar ukur yang mampu telusur (*traceable*) ke standar nasional untuk satuan ukuran dan/atau internasional.

#### 2.2 Parameter Kamera

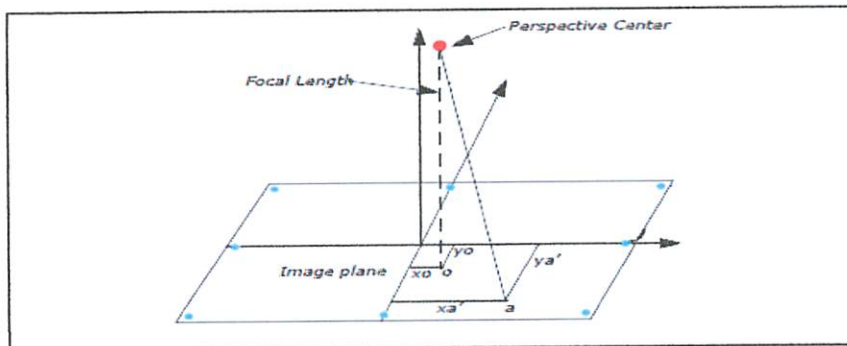
Dalam fotogrametri maupun komputer *vision*, terdapat dua parameter penting yang digunakan dalam berbagai persamaan untuk merekonstruksi objek tiga-dimensi menggunakan fotografi (*Geosystem, 2006a; Trucco & Verri, 1998*). Parameter tersebut terdiri dari parameter interinsik (*Interior Orientation*) dan



parameter ekstrinsik (*Exterior Orientation*). Parameter interinsik biasanya dipakai sebagai parameter untuk mendefinisikan nilai geometri dari kamera, sedangkan parameter ekstrinsik digunakan untuk menjelaskan hubungan secara geometri posisi kamera dan objek dalam suatu sistem koordinat referensi.

### 2.2.1 Parameter Interinsik (*Interior Orientation*)

Parameter interinsik merupakan parameter yang mendefinisikan geometri dari sensor kamera pada saat melakukan pengambilan foto. Parameter interinsik kamera ini terdiri dari tiga parameter pokok yaitu  $c$  atau  $f$  yang merupakan panjang fokus dan dua parameter *principle point*  $(x_0, y_0)$ .



Gambar 2.1 Interior orientasi kamera (Geosystem, 2006a)

Parameter *principle point* secara matematika dapat didefinisikan sebagai perpotongan garis tegak lurus yang melalui *perspective center* ke bidang foto. Panjang dari *principle point* ke *perspective center* disebut sebagai panjang fokus (Wang, 1990).

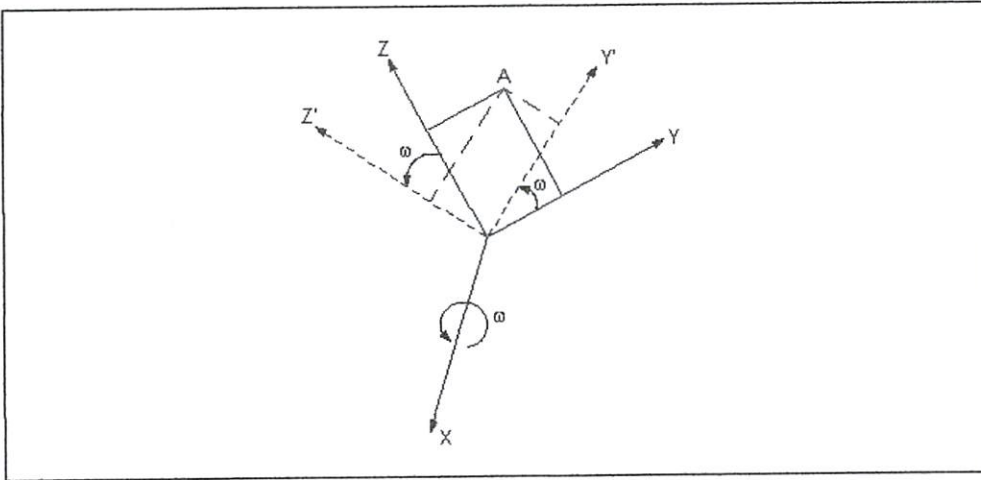
Pada umumnya parameter ini juga dapat dikatakan sebagai parameter transformasi, dimana pusat sistem koordinat terdapat pada *principle point* (Geosystem, 2006a). Persamaan transformasi ini dapat dituliskan dalam persamaan matematika sebagai berikut (Fraser, 2006b) :

$$\begin{vmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -x_0 \\ 0 & 1 & -y_0 \\ 0 & 0 & -f \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x \\ y \\ 1 \end{vmatrix} \dots\dots\dots(2.1)$$

**2.2.2 Parameter Ekstrinsik (Exterior Orientation)**

Parameter ekstrinsik atau *exterior orientation* merupakan parameter posisi dan orientasi sudut kamera pada saat pengambilan foto. Parameter posisi kamera didefinisikan dalam ruang tiga-dimensi yang merupakan posisi dari *perspektif center* (pusat kamera)  $X_o, Y_o, Z_o$ . Sedangkan parameter orientasi sudut berfungsi sebagai penghubung antara sistem koordinat kamera  $(x, y, z)$  dengan sistem koordinat referensi  $(X, Y, Z)$ . Sesuai dengan (Elias, 2007; Fraser, 2006b; Mikhail et al., 2001; Shih, 1994; Wolf & Dewitt, 2000) orientasi sudut dapat didefinisikan dalam sistem rotasi  $\omega, \phi, \kappa$  ( $\omega\phi\kappa$ (*omega, phi, kappa*) atau  $t, \alpha, s$  (*tilt, azimuth, swing*)).

Dari masing-masing sistem rotasi, dapat dibangun sebuah matrik rotasi yang digunakan untuk menghubungkan kedua sistem koordinat. Sebagai contoh, akan dijelaskan proses penurunan sebuah persamaan pada matrik rotasi dalam sudut rotasi *omega* untuk rotasi sumbu  $x$ , *phi* untuk rotasi sumbu  $y$  dan *kappa* sebagai rotasi sumbu  $z$ . Dari ketiga sudut diatas didefinisikan dalam sistem rotasi tangan kanan, dimana apabila berlawanan dengan putaran arah jarum jam akan bernilai negatif dan sebaliknya.



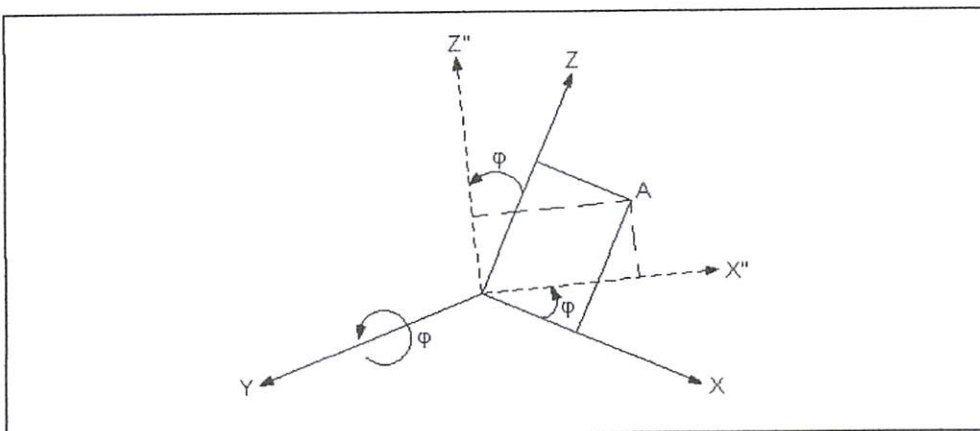
Gambar 2.2 Rotasi pada sumbu x sebesar  $\omega$

Dari gambar diatas, sumbu x positif diputar searah jarum jam, sehingga posisi titik A dalam sistem koordinat yang terotasi dapat ditulis dalam sebuah persamaan.

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = R_{\omega} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana parameter  $R_{\omega}$  didefinisikan sebagai :

$$R_{\omega} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & \sin \omega \\ 0 & -\sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2.3)$$



Gambar 2.3 Rotasi pada sumbu y sebesar  $\phi$

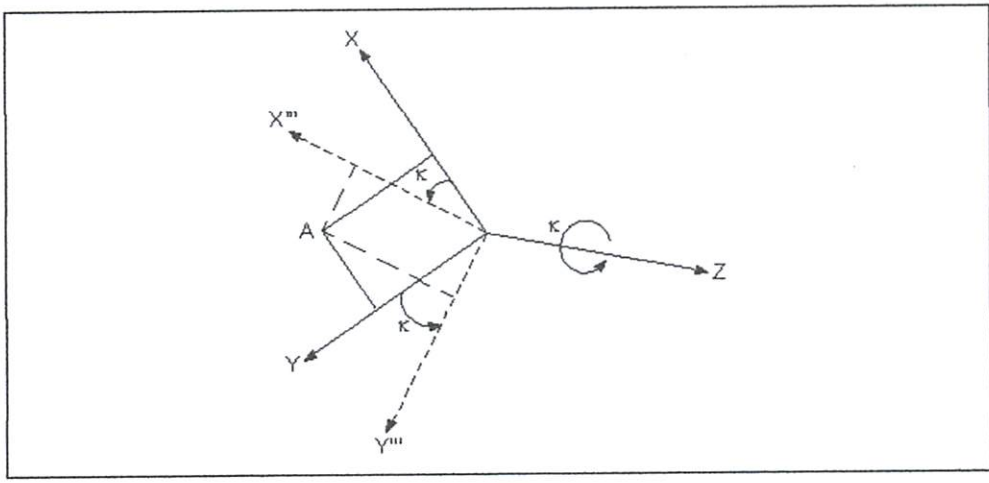


Selanjutnya, dilakukan rotasi terhadap sumbu  $y$  positif dengan arah rotasi positif searah dengan jarum jam seperti pada *gambar 2.3*. Dari hasil rotasi didapat nilai posisi titik  $A$  dalam sistem koordinat terotasi sebagai berikut.

$$\begin{pmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{pmatrix} = R_\varphi \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan parameter  $R_\varphi$  didapat dari persamaan :

$$R_\varphi = \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 & -\sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2.5)$$



Gambar 2.4 Rotasi pada sumbu  $z$  sebesar  $\kappa$

Dan yang terakhir, sumbu positif  $z$  dirotasi positif searah jarum jam, sebagaimana diilustrasikan pada *gambar 2.4* diatas. Sehingga posisi titik  $A$  pada sistem rotasi sumbu  $z$  dinyatakan dalam sebuah persamaan sebagai berikut :

$$\begin{pmatrix} X''' \\ Y''' \\ Z''' \end{pmatrix} = R_\kappa \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana parameter  $R_\kappa$  didefinisikan sebagai :

$$R_\kappa = \begin{pmatrix} \cos \kappa & \sin \kappa & 0 \\ -\sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dari perkalian  $R_\omega R_\varphi R_\kappa$  yang merupakan matrik rotasi dari parameter  $\omega, \varphi$  dan  $\kappa$  didapat nilai matrik rotasi secara utuh sebagai berikut (*Cooper & Robson, 2001*) :

$$R_{\omega\varphi\kappa} = \begin{pmatrix} \cos\varphi\cos\kappa & \sin\omega\sin\varphi\cos\kappa + \cos\omega\sin\kappa & -\cos\omega\sin\varphi\cos\kappa + \sin\omega\sin\kappa \\ -\cos\varphi\sin\kappa & -\sin\omega\sin\varphi\sin\kappa + \cos\omega\cos\kappa & \cos\omega\sin\varphi\sin\kappa + \sin\omega\cos\kappa \\ \sin\varphi & -\sin\omega\cos\varphi & \cos\omega\cos\varphi \end{pmatrix} \dots(2.8)$$

atau

$$R = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dan apabila nilai matrik rotasi  $R$  telah diketahui, parameter sudut rotasi berupa  $\omega, \varphi$  dan  $\kappa$  dapat ditentukan pula dengan menggunakan hubungan sebagai berikut (*Slabaugh, 2004; Wolf, 1993*) :

$$\sin \varphi = m_{31} ; \tan \omega = \frac{-m_{32}}{m_{33}} ; \tan \kappa = \frac{-m_{21}}{m_{11}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Pada dasarnya, matrik rotasi merupakan matrik ortogonal. Kondisi ini dapat dibuktikan dengan melakukan perkalian antara matrik tersebut dengan nilai transposnya sehingga akan menghasilkan sebuah matrik identitas (*Stefanovic, 1973;Thompson, 1959*) :

$$R^T R = RR^T = I \dots\dots\dots(2.11)$$

Kondisi keortogonalan matrik rotasi dapat dibuktikan juga dengan cara melakukan *invers* terhadap matrik tersebut. Apabila nilai *invers* dari matrik tersebut sama dengan nilai transposnya, maka matrik tersebut dapat dikatakan ortogonal sebagaimana yang dikemukakan oleh (Cooper & Robson, 2001) sebagai berikut :

$$R^{-1} = R^T \dots\dots\dots(2.12)$$

Matrik rotasi dapat pula dibangun dengan menggunakan sistem rotasi  $t, \alpha, s$  (*tilt, azimuth, swing*) sebagaimana yang telah dijelaskan diatas dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$R = \begin{pmatrix} -\cos \alpha \cos s - \sin \alpha \cos t \sin s & \sin \alpha \cos s - \cos \alpha \cos t \sin s & -\sin t \sin s \\ \cos \alpha \sin s - \sin \alpha \cos t \cos s & -\sin \alpha \sin s - \cos \alpha \cos t \cos s & -\sin t \cos s \\ -\sin \alpha \sin t & -\cos \alpha \sin t & \cos t \end{pmatrix} \dots\dots(2.13)$$

Atau dengan menggunakan tiga parameter independent yaitu  $a, b$  dan  $c$  sebagai element untuk membentuk matrik rotasi *Rodrigues* sebagai berikut (Faig, 1984) :

$$R = \Delta^{-1} \begin{pmatrix} 1 + \frac{1}{4}(a^2 - b^2 - c^2) & -c + \frac{1}{2}ab & b + \frac{1}{2}ac \\ c + \frac{1}{2}ba & 1 + \frac{1}{4}(-a^2 + b^2 - c^2) & -a + \frac{1}{2}bc \\ -b + \frac{1}{2}ca & a + \frac{1}{2}cb & 1 + \frac{1}{4}(-a^2 - b^2 + c^2) \end{pmatrix} \dots\dots(2.14)$$

Dimana  $\Delta = 1 + \frac{1}{4}(a^2 + b^2 + c^2)$ .

Masih terdapat dua persamaan lainnya untuk membentuk suatu matrik rotasi yaitu matrik *Pope-Hinsken* yang telah di aplikasikan oleh (Zheng & Wang, 1992) dalam proses reseksi dan matrik *Quaternion* yang pertama kali dikenalkan oleh Hamilton (1983) dan telah banyak digunakan dalam aplikasi komputer *vision* maupun fotogrametri.

### 2.3 Ekstraksi Data Koordinat Foto

Suatu foto dalam format digital merupakan kuantitas nilai-nilai tingkat keabuan (*greyscale*) yang ditampilkan dalam sebuah susunan matriks atau *array*, dimana nilai baris dan kolom dari matriks tersebut merupakan koordinat piksel. Dengan kelebihan yang dimiliki oleh foto dalam format digital ini, maka dapat dengan mudah menentukan nilai suatu koordinat objek dalam suatu sistem koordinat foto. Secara umum metode penentuan nilai koordinat objek pada foto digital yang sering digunakan dalam proses fotogrametri antara lain sebagai berikut :

#### 2.3.1 Metode Sentroid

Dalam penentuan koordinat foto menggunakan teknik ini, hanya terbatas pada target atau objek yang berbentuk lingkaran atau *elips*. Hal ini dikarenakan, pada metode ini bertujuan menghitung nilai tengah (*center of gravity*) atau pusat *centroid* pada sebuah target dengan memperhitungkan nilai tingkat keabuan pada tiap piksel. Seperti yang dikemukakan oleh *Ganci* dan *Shortis* dalam *Ahmad*, metode ini dapat digunakan untuk menentukan sentroid hingga ketepatan  $\pm 0,03$  piksel.

Untuk lebih jelasnya persamaan penentuan *centroid* secara umum dijabarkan sebagai berikut (*Shortis, et al, 1994*):

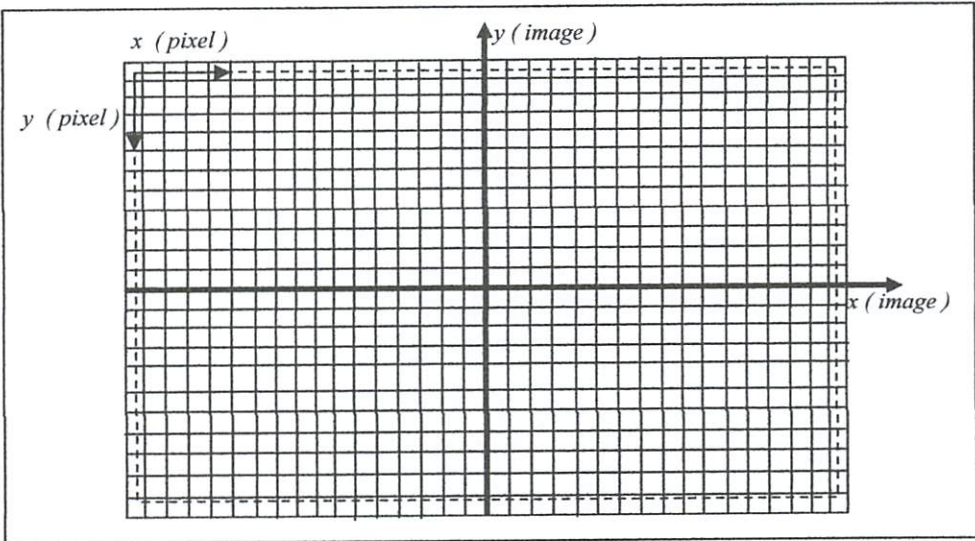
$$x = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m j l_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m l_{ij}}; y = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m i l_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m l_{ij}} \dots\dots\dots(2.15)$$



Dimana  $I_{ij}$  merupakan nilai tingkat keabuan (*greyscale*) piksel dalam arah  $x$  dan  $y$ ,  $m$  jumlah kolom,  $n$  jumlah baris dan masing-masing  $i$  dan  $j$  adalah nilai baris dan kolom piksel.

**2.3.2 Konversi Koordinat Piksel Ke Foto**

Pada kamera digital sistem koordinat yang dipakai adalah sistem koordinat piksel, sedangkan dalam proses perhitungan secara analitik, sistem yang dipakai adalah sistem koordinat kartesian (metrik). Sehingga dalam hal ini harus dilakukan transformasi koordinat dari sistem piksel kedalam sistem kartesian foto. Adapun persamaan yang digunakan adalah (*Australis, User Manual, 2004*).



Gambar 2.5 Sistem koordinat piksel vs sistem koordinat foto

$$\begin{aligned}
 X &= (X' - X_c') \times X_{PixelSize} \\
 y &= (Y_c' - Y') \times Y_{PixelSize} \dots\dots\dots (2.16)
 \end{aligned}$$

Dimana :

$$X_c = \left(\frac{nx}{2}\right) - 0,5$$

$$Y_c = \left(\frac{ny}{2}\right) - 0,5 \dots\dots\dots(2.17)$$

Dalam hal ini  $x, y$  merupakan koordinat foto dalam sistem koordinat metrik,  $x', y'$  koordinat dalam piksel,  $x_c, y_c$ , *principle point* dalam piksel,  $x_{PixelSize}, y_{PixelSize}$  ukuran satu piksel dalam metrik dan  $nx', ny'$  merupakan resolusi dari foto dalam piksel.

#### 2.4 Persamaan Umum Fotogrametri

Dalam fotogrametri dikenal dua persamaan yaitu persamaan kolinear dan persamaan koplantar. Menurut (*Fraser, 2006d*), kedua persamaan tersebut diadopsi dari sebuah persamaan dasar transformasi similariti tiga-dimensi sebagai berikut :

$$x = \lambda R(X - X_c) \dots\dots\dots(2.18)$$

Apabila dijabarkan dalam bentuk matrik, persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut :

$$\begin{vmatrix} x \\ y \\ -f \end{vmatrix} = \lambda R \begin{vmatrix} X_i - X_c \\ Y_i - Y_c \\ Z_i - Z_c \end{vmatrix} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

$x, y$  : Koordinat foto.

$f$  : Panjang fokus kamera.

$\lambda$  : Parameter skala.

$R$  : Parameter matrik rotasi dengan dimensi  $3 \times 3$ .

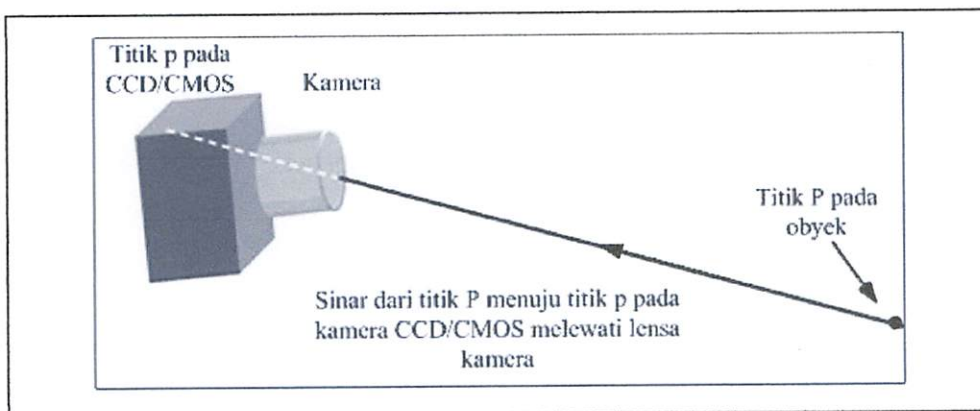
$X_b, Y_b, Z_b$  : parameter koordinat objek dalam ruang tiga-dimensi.

$X_c, Y_c, Z_c$  : Parameter posisi kamera pada saat pengambilan gambar objek.

Kedua persamaan tersebut dapat digunakan dalam berbagai kasus fotogrametri. Akan tetapi, penggunaannya disesuaikan terhadap parameter yang akan dicari dan data observasi yang dimiliki. Untuk lebih jelasnya, penggunaan kedua persamaan tersebut akan dijelaskan secara rinci pada tiap sub-bab dibawah ini.

#### 2.4.1 Persamaan Kolinear (Collinearity Equation)

Kebersamaan garis (kolinear) merupakan kondisi kedudukan titik pemotretan, titik objek dan gambaran titik pada foto seluruhnya terletak pada suatu garis lurus (Fraser, 2006a; Mikhail et al., 2001; Wolf & Dewitt, 2000). Kedudukan dalam kebersamaan garis tersebut dapat dilihat pada gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6 Kondisi kesegarisian atau kolinear (Tjahjadi, 2009)



Dua buah persamaan menyatakan kondisi kebersamaan garis bagi sembarang titik diatas foto udara, diantaranya sebuah persamaan bagi koordinat foto  $x$  dan lainnya untuk koordinat foto  $y$ . Asal persamaan tersebut ialah persamaan 2.2 dan dijabarkan sebagai berikut (Geosystem, 2006b; Karara, 1989) :

$$x_a - x_0 = -f \left| \frac{m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Y_A - Y_L) + m_{13}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)} \right| \dots\dots\dots(2.20)$$

$$y_a - y_0 = -f \left| \frac{m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)} \right| \dots\dots\dots(2.21)$$

Dalam hal ini :

$x_a, y_a$  : Koordinat foto dari gambaran satu objek.

$x_0, y_0$  : Pusat sistem koordinat foto (Principle point).

$X_A, Y_A, Z_A$  : Koordinat titik objek pada ruang tiga-dimensi.

$X_L, Y_L, Z_L$  : Koordinat posisi kamera pada saat melakukan pemotretan.

$f$  : Panjang fokus kamera .

$m_{11}, m_{12}, \dots, m_{33}$  : Elemen matrik rotasi .

Persamaan kolinear diatas bukanlah persamaan linear, sehingga persamaan tersebut harus dilinearisasi terlebih dahulu menggunakan teorema Taylor (Wolf, 1980). Pada persamaan diatas, apabila telah mengalami proses linearisasi akan berbentuk sebagai berikut :

$$v_x + J = b_{11}d\omega + b_{12}d\phi + b_{13}d\kappa - b_{14}dX_L - b_{15}dY_L - b_{16}dZ_L + b_{14}dX_A + b_{15}dY_A + b_{16}dZ_A \dots(2.22)$$

$$v_x + K = b_{21}d\omega + b_{22}d\phi + b_{23}d\kappa - b_{24}dX_L - b_{25}dY_L - b_{26}dZ_L + b_{24}dX_A + b_{25}dY_A + b_{26}dZ_A \dots(2.23)$$

Dari persamaan 2.22 dan 2.23 diatas :

$v_x, v_y$  : Kesalahan residual dalam koordinat foto yang terukur.

$d\omega, d\phi, d\kappa$  : Koreksi nilai pendekatan awal bagi parameter rotasi.

$dX_L, dY_L, dZ_L$  : Koreksi terhadap nilai awal bagi koordinat titik pemotretan.

$dX_A, dY_A, dZ_A$  : Koreksi terhadap nilai awal bagi koordinat ruang titik objek.

Sedangkan nilai koefisien  $b_{11}, b_{12}, \dots, b_{25}, b_{26}$  dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 b_{11} &= \frac{f}{q^2} [r(-m_{33}\Delta Y + m_{32}\Delta Z) - q(-m_{13}\Delta Y + m_{12}\Delta Z)] \\
 b_{12} &= \frac{f}{q^2} [r(\cos \phi \Delta X + \sin \omega \sin \phi \Delta Y - \cos \omega \sin \phi \Delta Z) - q(-\sin \phi \cos \kappa \Delta X + \sin \omega \\
 &\quad \cos \phi \cos \kappa \Delta Y - \cos \omega \cos \phi \cos \kappa \Delta Z)] \\
 b_{13} &= \frac{-f}{q} (m_{12}\Delta X + m_{22}\Delta Y + m_{23}\Delta Z) \\
 b_{14} &= \frac{f}{q^2} (rm_{31} - qm_{11}) \\
 b_{15} &= \frac{f}{q^2} (rm_{32} - qm_{12}) \\
 b_{16} &= \frac{f}{q^2} (rm_{33} - qm_{13}) \dots\dots\dots(2.24) \\
 b_{21} &= \frac{f}{q^2} [s(-m_{33}\Delta Y + m_{32}\Delta Z) - q(-m_{23}\Delta Y + m_{22}\Delta Z)] \\
 b_{22} &= \frac{f}{q^2} [s(\cos \phi \Delta X + \sin \omega \sin \phi \Delta Y - \cos \omega \sin \phi \Delta Z) - q(-\sin \phi \sin \kappa \Delta X - \sin \omega \\
 &\quad \cos \phi \sin \kappa \Delta Y - \cos \omega \cos \phi \sin \kappa \Delta Z)] \\
 b_{23} &= \frac{-f}{q} (m_{11}\Delta X + m_{12}\Delta Y + m_{13}\Delta Z)
 \end{aligned}$$

$$b_{24} = \frac{f}{q^2}(sm_{31} - qm_{21})$$

$$b_{25} = \frac{f}{q^2}(sm_{32} - qm_{22})$$

$$b_{26} = \frac{f}{q^2}(sm_{32} - qm_{23})$$

Dengan parameter  $r, s, q$  sebagai berikut :

$$r = m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Y_A - Y_L) + m_{13}(Z_A - Z_L) \dots\dots\dots(2.25)$$

$$s = m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L) \dots\dots\dots(2.26)$$

$$q = m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L) \dots\dots\dots(2.27)$$

Dan koefisien  $J, K$  yang merupakan parameter observasi pada *persamaan 2.22* dan *2.23* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$J = x_a - x_0 + f \frac{r}{q} \dots\dots\dots(2.28)$$

$$K = y_a - y_0 + f \frac{s}{q} \dots\dots\dots(2.29)$$

Dimana :

$x_a, y_a$  : Koordinat foto dari gambaran satu objek.

$x_0, y_0$  : Pusat sistem koordinat foto (*Principle point*).

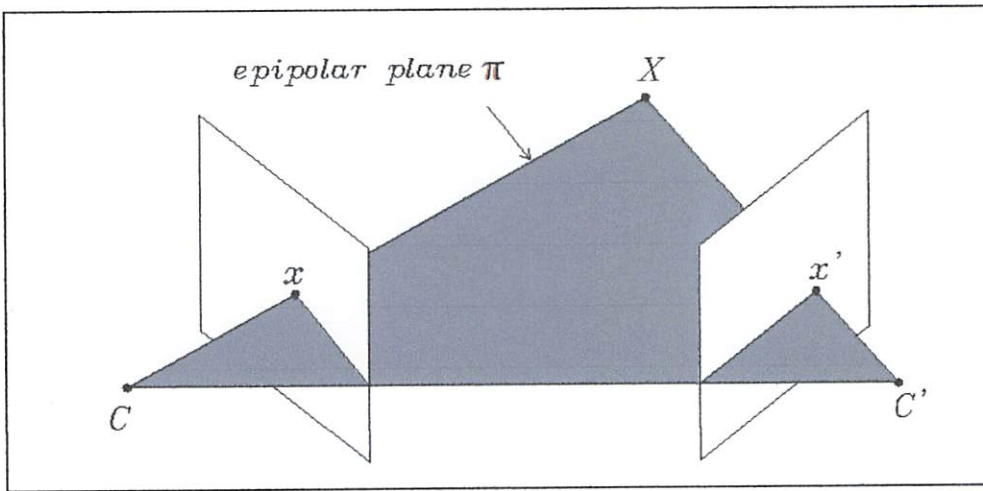
$f$  : Panjang fokus kamera .

$r, s, q$  : Nilai dari persamaan 2.25-2.27.

Keseluruhan persamaan diatas dapat digunakan dalam proses iterasi untuk menentukan nilai koreksi tiap parameter pendekatan awal. Proses iterasi tersebut akan dihentikan apabila besarnya nilai koreksi dapat diabaikan.

**2.4.2 Persamaan Koplanar**

Persamaan koplanar atau kebersamaan bidang sesuai dengan ilustrasi yang diberikan pada gambar 2.11, merupakan keadaan dimana dua buah stasiun pemotretan suatu pasang foto stereo, titik objek pada ruang dan titik objek pada foto terletak pada satu bidang yang sama (Ghos, 2005;McGlone, 1989).



Gambar 2.7 Kondisi koplanar untuk dua buah foto (Harley, 1992)

Persamaan kondisi koplanar secara umum dapat dituliskan dalam bentuk sebagai berikut (Mikhail et al., 2001) :

$$F = \begin{vmatrix} b_x & b_y & b_z \\ u_1 & v_1 & w_1 \\ u_2 & v_2 & w_2 \end{vmatrix} \dots\dots\dots(2.30)$$

Atau dapat dituliskan dalam fungsi determinan sebagai berikut :

$$F = b_x (v_1 w_2 - w_1 v_2) - b_y (u_1 w_2 - w_1 u_2) + b_z (u_1 v_2 - v_1 u_2) \dots\dots\dots(2.31)$$

Dimana tiap parameter yang diketahui pada persamaan diatas didapat dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :



$$b_x = X_{L2} - X_{L1} ; b_y = Y_{L2} - Y_{L1} ; b_z = Z_{L2} - Z_{L1} \dots\dots\dots(2.32)$$

$$u = m_{11}x + m_{21}y - m_{31}f \dots\dots\dots(2.33)$$

$$v = m_{12}x + m_{22}y - m_{32}f \dots\dots\dots(2.34)$$

$$w = m_{13}x + m_{23}y - m_{33}f \dots\dots\dots(2.35)$$

Di dalam persamaan 2.31-2.35, tanda 1 dan 2 pada huruf u, v dan w menunjukkan pengertian tentang foto ke-1 dan ke-2. Notasi m<sub>11</sub>, m<sub>12</sub>,..., m<sub>33</sub> merupakan element dari matrik rotasi dan X<sub>L</sub>, Y<sub>L</sub>, Z<sub>L</sub> merupakan koordinat posisi kamera yang digunakan untuk menentukan nilai vektor basis b<sub>x</sub>, b<sub>y</sub>, b<sub>z</sub>.

Seperti halnya persamaan kolinear, persamaan koplanar ini juga masih dalam bentuk non-linear. Dengan demikian perlu dilakukan proses linearisasi. Proses linearisasi tersebut dapat dilakukan menggunakan metode turunan parsial terhadap nilai determinan (Mikhail et al., 2001) untuk persamaan 2.30 sebagai berikut :

$$\frac{\partial D}{\partial p} = \begin{vmatrix} \frac{\partial R_1}{\partial p} \\ \frac{\partial R_2}{\partial R_3} \\ \frac{\partial R_3}{\partial R_3} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \frac{\partial R_1}{\partial R_2} \\ \frac{\partial R_2}{\partial R_3} \\ \frac{\partial R_3}{\partial R_3} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \frac{\partial R_1}{\partial R_2} \\ \frac{\partial R_2}{\partial R_3} \\ \frac{\partial R_3}{\partial p} \end{vmatrix} \dots\dots\dots(2.36)$$

Dimana R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> dan R<sub>3</sub> merupakan elemen dari ketiga baris dari determinan D. Apabila turunan parsial dari determinan tersebut diaplikasikan kedalam persamaan 2.31, dan selama kondisi koplanar ini digunakan dalam proses relatif orientasi, maka terdapat empat parameter observasi berupa koordinat foto x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, dan y<sub>2</sub> dan lima parameter yang tidak diketahui yaitu ω, φ, k, Y<sub>L</sub>, Z<sub>L</sub>. Sehingga, bentuk persamaan koplanar yang telah telinearisasi didapat sebagai berikut :

$$A \ v + B \ \Delta = F \dots\dots\dots(2.37)$$

1×44×1    1×55×1    1×1

Dimana :

$$A = \begin{vmatrix} \partial F / \partial x_1 & \partial F / \partial y_1 & \partial F / \partial x_2 & \partial F / \partial y_2 \end{vmatrix}$$

$$v = \begin{vmatrix} v_{x1} & v_{y1} & v_{x2} & v_{y2} \end{vmatrix}^T$$

$$B = \begin{vmatrix} \partial F / \partial Y_L & \partial F / \partial Z_L & \partial F / \partial \omega & \partial F / \partial \varphi & \frac{\partial F}{\kappa} \end{vmatrix}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} \partial Y_L & \partial Z_L & \partial \omega & \partial \varphi & \partial \kappa \end{vmatrix}^T$$

$F =$  merupakan nilai dari persamaan 2.31

Untuk element matrik  $A$  dapat dibentuk dengan menghitung nilai turunan tiap koordinat foto. Adapun contoh proses penentuan persamaan untuk tiap elemen matrik  $A$  dapat dilihat dibawah ini.

$$a_{13} = \frac{\partial F}{\partial x_2} = \begin{vmatrix} b_x & b_y & b_z \\ u_1 & v_1 & w_1 \\ \partial u_2 / \partial x_2 & \partial v_2 / \partial x_2 & \partial w_2 / \partial x_2 \end{vmatrix} \dots\dots\dots(2.38)$$

Dengan melakukan turunan parsial untuk tiap elemen baris ke-3 pada persamaan diatas didapat sebuah persamaan baru sebagai berikut :

$$\frac{\partial}{\partial x_2} \begin{vmatrix} u_2 \\ v_2 \\ w_2 \end{vmatrix} = R_2^T \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} m_{11} \\ m_{12} \\ m_{13} \end{vmatrix}_2^0 \dots\dots\dots(2.39)$$

sehingga

$$a_{13} = \begin{vmatrix} b_x & b_y & b_z \\ u_1 & v_1 & w_1 \\ (m_{11})_2 & (m_{12})_2 & (m_{13})_2 \end{vmatrix} \dots\dots\dots(2.40)$$

Dan untuk nilai elemen matrik  $A$  yang lainnya dapat ditentukan dengan cara yang sama seperti yang telah diuraikan diatas.

Sedangkan untuk tiap element matrik  $B$  dapat ditentukan dengan mempertimbangkan model relatif orientasi yang akan digunakan yaitu *dependent relative orientation* atau *independent relative orientasi*. Untuk model *dependent RO* parameter yang akan ditentukan berupa  $\omega_1, \varphi_1, k_1, \varphi_2$  dan  $k_2$ . Sedangkan untuk model *independent RO* parameter  $b_x$  bernilai fix dan lima parameter eksterior orientasi untuk foto kedua yang harus ditentukan yaitu  $b_y, b_z, \omega_2, \varphi_2, k_2$ . Terlepas dari dua model diatas, proses penentuan nilai turunan untuk tiap parameter dapat dilakukan sesuai dengan contoh dibawah ini :

$$b_{11} = \frac{\partial F}{\partial b_y} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ u_1 & v_1 & w_1 \\ u_2 & v_2 & w_2 \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} u_1 & w_1 \\ u_2 & w_2 \end{vmatrix} = -(u_1 w_2 - u_2 w_1) \dots\dots\dots(2.41)$$

$$b_{12} = \frac{\partial F}{\partial b_z} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 \\ u_1 & v_1 & w_1 \\ u_2 & v_2 & w_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} u_1 & v_1 \\ u_2 & v_2 \end{vmatrix} = (u_1 v_2 - u_2 v_1) \dots\dots\dots(2.42)$$

$$b_{13} = \frac{\partial F}{\partial \omega_2} = \begin{vmatrix} b_x & b_y & b_z \\ u_1 & v_1 & w_1 \\ \frac{\partial u_2}{\partial \omega_2} & \frac{\partial v_2}{\partial \omega_2} & \frac{\partial w_2}{\partial \omega_2} \end{vmatrix} \dots\dots\dots(2.43)$$

$b_{14} = \frac{\partial F}{\partial \varphi_2}$  dan  $b_{15} = \frac{\partial F}{\partial k_2}$  dapat ditentukan dengan proses yang sama

dengan proses penentuan nilai turunan dari  $b_{13}$  sebagai berikut :

$$\frac{\partial}{\partial \omega_2} \begin{vmatrix} u_2 \\ v_2 \\ w_2 \end{vmatrix} = \frac{\partial R_2^T}{\partial \omega_2} \begin{vmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{vmatrix}_2 = \left( R_2^0 \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix} \right)^T \begin{vmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{vmatrix}_2 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} \left( R_2^{0T} \begin{vmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{vmatrix}_2 \right)$$

$$= \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} u_2 \\ v_2 \\ w_2 \end{vmatrix}^0$$

atau

$$\frac{\partial}{\partial \omega_2} \begin{vmatrix} u_2 \\ v_2 \\ w_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ -w_2 \\ v_2 \end{vmatrix} \dots\dots\dots(2.44)$$

Dengan demikian, nilai akhir dari turunan elemen  $b_{13}$  didapat sebagai berikut :

$$b_{13} = \begin{vmatrix} b_x & b_y & b_z \\ u_1 & v_1 & w_1 \\ 0 & -w_2 & v_2 \end{vmatrix} = b_x(v_1 v_2 - (-w_1 w_2)) - b_y(u_1 v_2) + b_z(-w_2 u_1) \dots\dots\dots(2.45)$$

Dengan jalan yang sama dapat pula ditentukan nilai elemen  $b_{14}$  dan  $b_{15}$ .

## 2.5 Kalibrasi Kamera Non Metrik

Untuk mendapatkan nilai ukuran yang memiliki tingkat akurasi, presisi dan reliabilitas yang tinggi maka kamera harus dilakukan kalibrasi. Karena proses kalibrasi tersebut mengeliminasi kesalahan sistematik yang terdapat pada unsur intrinsik dari kamera tersebut. Kondisi yang harus diperhatikan agar ketelitian titik-titik ini memenuhi standar spesifikasi pengukuran maka dua kondisi utama yang harus diperhatikan (*Tjahjadi, 2008b*) :

Yang pertama adalah metode penentuan titik-titik kordinat foto. Dari postulat teori perambatan kesalahan didalam teknik hitung kuadrat terkecil, ketelitian koordinat titik-titik obyek pada bidang tanah tergantung dari ketelitian pengukuran/pendijitasian koordinat titik-titik yang terekam pada foto.

Yang kedua adalah karena kamera digital SLR, baik yang menggunakan sensor bertipe CCD (*Charge Coupled Devices*) maupun yang bertipe CMOS (*Complementary Metal Oxide Semi-conductor*) memiliki susunan komponen-komponen didalamnya yang relatif kurang stabil jika dibandingkan kamera



metrik, maka perhatian lebih harus tertuju pada bagaimana keakurasian parameter-parameter kalibrasi kamera bertipe ini dan bagaimana keakurasian parameter *interior orientation* (IO) beserta *exterior orientation* (EO) nya dapat dihitung, mengingat ketiga komponen ini akan digunakan untuk melakukan proses *intersection* didalam persamaan kolinier. Teknik komputasi “*Self Calibrating Bundle Adjustment*” dapat digunakan untuk menghitung parameter kalibrasi, IO, EO dan titik-titik koordinat objek.

Dalam permasalahan yang kedua sangat identik dengan permasalahan unsur intrinsik kamera. Sehingga perlu dilakukannya koreksi terhadap kesalahan-kesalahan tersebut.

### 2.5.1 Distorsi Radial

Nilai distorsi radial merupakan perpindahan secara radial suatu titik dari posisi sebenarnya terhadap posisi dari *principle point* ( $x_p, y_p$ ), dengan indikator bila nilainya positif maka pergeserannya mengarah keluar. Persamaan polinomial berdasarkan pada teori desain kamera adalah sebagai berikut (*Wolf and Dewitt, 2004*) :

$$\begin{aligned} \Delta x &= k_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7 \dots\dots\dots (2.46) \\ \Delta y &= K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7 \dots\dots\dots \end{aligned}$$

atau

$$d_r = K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7 + \dots\dots\dots (2.47)$$

Dimana  $K_1, K_2,$  dan  $K_3$  merupakan koefisien distorsi radial lensa,  $r$  merupakan jarak radial dari pusat foto terkalibrasi yang didapat dari :

$$r = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \dots\dots\dots (2.48)$$

..... Nilai  $\bar{x}, \bar{y}$  didapat dari persamaan 2.46. Setelah nilai distorsi radial  $\Delta x_r$  dan  $\Delta y_r$  didapat, selanjutnya menghitung komponen koreksi yaitu  $\delta_x, \delta_y$  sebagai berikut :

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{\delta x}{\bar{x}} = \frac{\delta y}{\bar{y}} \dots\dots\dots (2.49)$$

Atau dapat dijabarkan menjadi :

$$\delta x = \bar{x} \frac{\Delta r}{r} \dots\dots\dots (2.50)$$

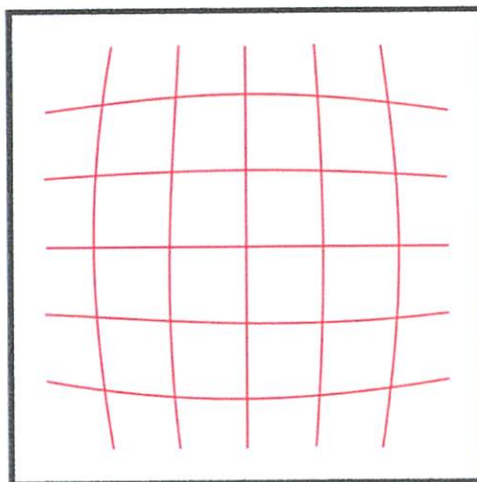
$$\delta y = \bar{y} \frac{\Delta r}{r}$$

Posisi koordinat sebenarnya dapat dicari dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$x = \bar{x} - \delta x \dots\dots\dots (2.51)$$

$$y = \bar{y} - \delta y$$

Efek distorsi radial adalah sekitar 1 sampai 2 piksel di perbatasan CCD sensor. Dalam kaitannya dengan definisi distorsi radial, ada korelasi besar antara koefisien 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.



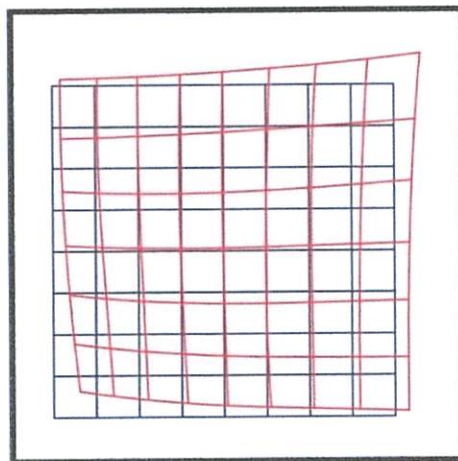
Gambar 2.8 Distorsi Radial

### 2.5.2 Distorsi Tangensial

Distorsi tangensial atau distorsi *decentering* adalah pergeseran linier titik di foto 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 elemen-elemen lensa dalam gabungan lensa tersebut tidak terletak pada satu garis lurus. Pergeseran ini biasa dideskripsikan dengan 2 persamaan polomial untuk pergeseran pada arah  $x$  ( $dx$ ) dan  $y$  ( $dy$ ) (Atkinson, 2001).

$$\begin{aligned}d_x &= P_1 [r^2 + 2(x - x_0)^2] + 2P_2(x - x_0)(y - y_0) \\d_y &= P_2 [r^2 + 2(y - y_0)^2] + 2P_1(x - x_0)(y - y_0) \dots\dots\dots (2.52)\end{aligned}$$

Dimana  $P_1$  dan  $P_2$  merupakan koefesien 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.



Gambar 2.9 Distorsi tangensial (Atkinson, 2001)

### 2.5.3 Distorsi Affinity

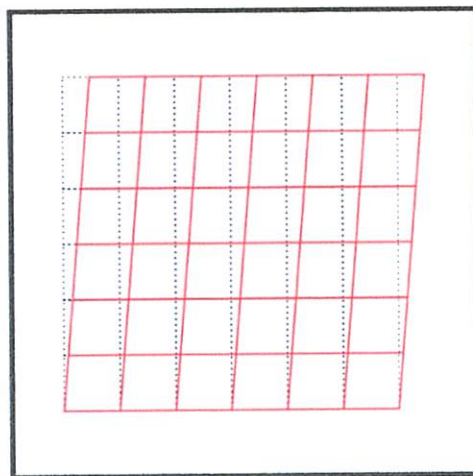
Parameter distorsi *affinity* secara umum dapat dimodelkan dalam bentuk persamaan polinomial dan gabungan dari koreksi koordinat foto (Fraser, 1995).

$$\begin{Bmatrix} \Delta x_u \\ \Delta x_v \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{x}/r \\ \bar{y}/r \end{Bmatrix} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^i a_{ij} \bar{x}^{(i-j)} \bar{y}^{(j)} \dots\dots\dots (2.53)$$

Dari persamaan (2.53) dapat digunakan untuk memodelkan bidang yang tidak rata, dimana model koreksi pada bidang distorsi dapat dikurangi menjadi dua aturan hanya untuk koordinat  $x$ , satu untuk menghitung perbedaan skala antar selang piksel horisontal dan vertikal, dan satu untuk memodelkan *non-orthogonality* antara sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  (Fraser, 1995) :

$$\begin{aligned} \Delta x_f &= b_1x + b_2y \\ \Delta y_f &= 0 \end{aligned} \dots\dots\dots (2.54)$$

Distorsi *affinity* ini terjadi akibat kurang sikunya bidang CCD atau CMOS yang digunakan untuk merekam bayangan objek, sehingga frame dari foto tidak akan benar-benar berbentuk sebuah bujur sangkar ataupun persegi panjang akan tetapi akan membentuk sebuah jajaran genjang.



Gambar 2.10 Distorsi Affinity



## 2.6 Interior Orientasi

Dalam berbagai kasus, elemen dari orientasi dalam (lokasi *principle point*  $x_p, y_p$  dan panjang fokus  $c$ ) harus ditentukan. Parameter ini mendefinisikan posisi CCD sensor terhadap pusat perspektif. Sebagai bagian dari *Additional Parameter* (AP), sebenarnya bukan unsur tersebut yang harus ditentukan, akan tetapi perubahan dari parameter,  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ , dan  $\Delta c$  (Dorstel et al., 2004):

$$\begin{aligned} \Delta x_i &= \Delta x_p - \frac{\bar{x}}{\bar{z}} \Delta c \\ \Delta y_i &= \Delta y_p - \frac{\bar{y}}{\bar{z}} \Delta c \end{aligned} \dots\dots\dots(2.55)$$

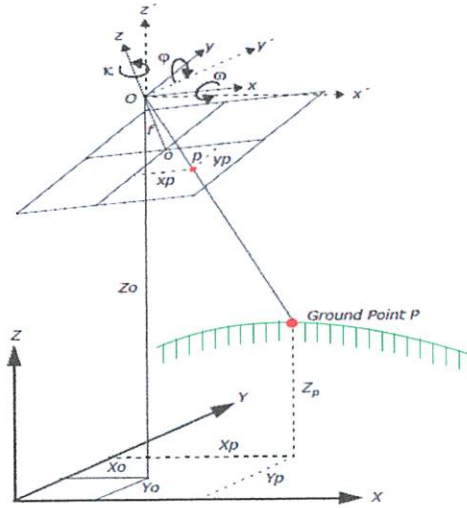
Dimana koordinat foto digambarkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \bar{x} &= x - x_p \\ \bar{y} &= y - y_p \\ \bar{z} &= -c \end{aligned} \dots\dots\dots(2.55)$$

## 2.7 Eksterior Orientasi

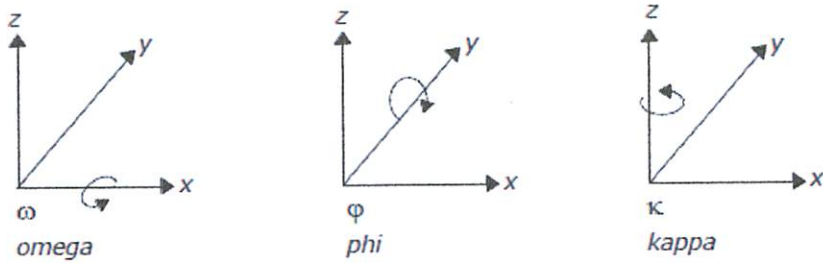
Menentukan parameter orientasi luar dari foto merupakan salah satu tugas terpenting dalam fotogrametri. Parameter orientasi luar terdiri dari 3 parameter posisi kamera ( $X_L, Y_L, Z_L$ ) dan 3 parameter rotasi *omega, phi, kappa* ( $\omega, \phi, \kappa$ ). Elemen sudut rotasi dari parameter orientasi luar menggambarkan hubungan antara sistem koordinat objek ( $X, Y, Z$ ) dengan sistem koordinat foto ( $x, y, z$ ). Untuk ilustrasi dari parameter orientasi luar dapat dilihat dibawah ini.





Gambar 2.11 Elemen dari orientasi luar pada Aerial Photogrammetry  
 Dengan arah rotasi *omega*, *phi* dan *kappa* pada masing-masing sumbu

sebagai berikut :

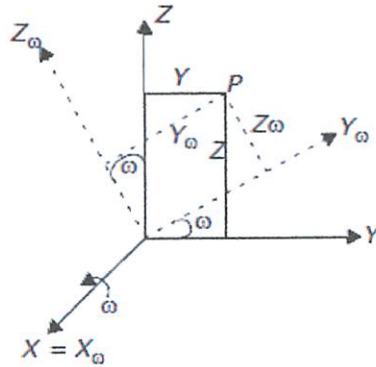


Gambar 2.12 Rotasi Omega, Phi dan Kappa

Menggunakan tiga sudut rotasi, hubungan antara sistem koordinat foto (x, y, z) dan sistem koordinat objek (X, Y, Z) dapat ditentukan. Sebuah matrik dengan dimensi 3x3 dapat mendefinisikan hubungan antara dua sistem yang digunakan. Adapun matrik rotasi dapat didefinisikan sebagai berikut (Geosystem, 2006) :

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.56)$$

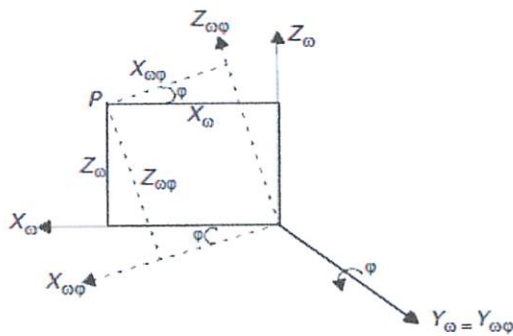
Untuk mendapatkan persamaan diatas, tiga sudut rotasi harus dilakukan secara bergantian. Rotasi pertama dilakukan terhadap sumbu  $x$  ( $\omega$ ), rotasi yang kedua dilakukan terhadap sumbu  $y$  ( $\phi$ ), dan rotasi yang terakhir dilakukan terhadap sumbu  $z$  ( $\kappa$ ).



Gambar 2.13 Rotasi pertama omega terhadap sumbu  $x$

Dari gambar diatas di dapat persamaan sebagai berikut :

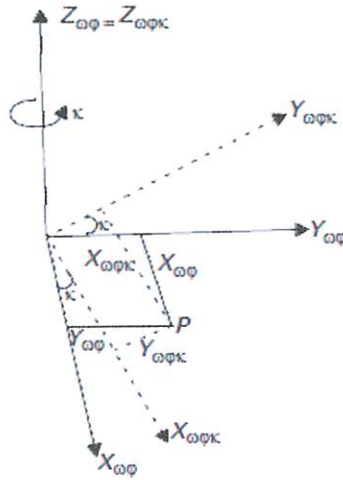
$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_\omega \\ Y_\omega \\ Z_\omega \end{bmatrix} = M_\omega \begin{bmatrix} X_\omega \\ Y_\omega \\ Z_\omega \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.57)$$



Gambar 2.14 Rotasi kedua phi terhadap sumbu  $y$

Dari sistem rotasi kedua terhadap sumbu  $y$  di dapat persamaan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} X_\omega \\ Y_\omega \\ Z_\omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{\omega\varphi} \\ Y_{\omega\varphi} \\ Z_{\omega\varphi} \end{bmatrix} = M_\varphi \begin{bmatrix} X_{\omega\varphi} \\ Y_{\omega\varphi} \\ Z_{\omega\varphi} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.58)$$



Gambar 2.15 Rotasi ketiga kappa terhadap sumbu z

Dari gambar diatas sistem rotasi terhadap sumbu z didapat persamaan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} X_{\omega\varphi} \\ Y_{\omega\varphi} \\ Z_{\omega\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{\omega\varphi\kappa} \\ Y_{\omega\varphi\kappa} \\ Z_{\omega\varphi\kappa} \end{bmatrix} = M_\kappa \begin{bmatrix} X_{\omega\varphi\kappa} \\ Y_{\omega\varphi\kappa} \\ Z_{\omega\varphi\kappa} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.59)$$

Dengan mengkombinasikan persamaan 2.46, 2.47, dan 2.48 akan di dapat hubungan antara koordinat titik objek (P) relatif terhadap (X, Y, Z) dan (X\_{\omega\varphi\kappa}, Y\_{\omega\varphi\kappa}, Z\_{\omega\varphi\kappa}).

$$P = M_\omega \times M_\varphi \times M_\kappa \times P_{\omega\varphi\kappa} \dots\dots\dots(2.60)$$

Persamaan diatas diganti menjadi :

$$M_\omega \times M_\varphi \times M_\kappa \dots\dots\dots(2.61)$$

Dimana M merupakan matrik 3 x 3, sehingga di dapat persamaan 2.56. dengan nilai masing-masing elemen matrik sebagai berikut :

$$m_{11} = \cos \varphi \times \cos \kappa$$

$$m_{12} = -\cos \varphi \times \sin \kappa$$

$$m_{13} = \cos \omega$$

$$m_{21} = \cos \omega \times \sin \kappa + \sin \omega \times \sin \varphi \times \cos \kappa$$

$$m_{22} = \cos \omega \times \sin \kappa - \sin \omega \times \sin \varphi \times \sin \kappa \dots\dots\dots(2.62)$$

$$m_{23} = -\sin \omega \times \cos \varphi$$

$$m_{31} = \sin \omega \times \sin \kappa - \cos \omega \times \sin \varphi \times \cos \kappa$$

$$m_{32} = \sin \omega \times \cos \kappa + \cos \omega \times \sin \varphi \times \sin \kappa$$

$$m_{33} = \cos \omega \times \cos \varphi$$

## 2.8 Reseksi

Reseksi keruangan adalah metode untuk menentukan parameter posisi dan orientasi dari suatu foto berkenaan dengan sistem koordinat objek dimana titik kontrol objek telah didistribusikan secara merata. Karena kedua system dari sistem koordinat objek  $(X, Y, Z)$  dan sistem koordinat foto  $(x, y)$  pada titik kontrol tanah telah diketahui, dengan menggunakan persamaan kolinier, 6 element orientasi luar  $(X_s, Y_s, Z_s, \omega, \phi, \kappa)$  dapat dihitung. Dengan syarat parameter orientasi dalam  $(x_o, y_o, f)$  juga diketahui. Persamaan kolinier dijabarkan sebagai berikut :

$$x - x_o = -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)}$$

$$y - y_o = -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \dots\dots\dots(2.63)$$

dimana  $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2,$  dan  $c_3$  element matrik rotasi yang dibentuk oleh sudut rotasi  $\omega, \phi, \kappa$ . Dengan menggunakan deret *Taylor*, persamaan kolinier dapat di linierisasi menjadi persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 x - (x) &= \frac{\partial x}{\partial X_s} \partial X_s + \frac{\partial x}{\partial Y_s} \partial Y_s + \frac{\partial x}{\partial Z_s} \partial Z_s + \frac{\partial x}{\partial \omega} \partial \omega + \frac{\partial x}{\partial \phi} \partial \phi + \frac{\partial x}{\partial \kappa} \partial \kappa \\
 x - (y) &= \frac{\partial y}{\partial X_s} \partial X_s + \frac{\partial y}{\partial Y_s} \partial Y_s + \frac{\partial y}{\partial Z_s} \partial Z_s + \frac{\partial y}{\partial \omega} \partial \omega + \frac{\partial y}{\partial \phi} \partial \phi + \frac{\partial y}{\partial \kappa} \partial \kappa
 \end{aligned}
 \tag{2.64}$$

Metode ini banyak dibahas dalam berbagai buku bacaan, antara lain *Edward M. Mikhail, James S. Bethel, and J. Chris McGlone (2001, p 79)*. Dengan anggapan vektor observasi  $b$ , matrik koefisien  $A$  dan vektor parameter  $\xi$  dengan susunan sebagai berikut :

$$b = \begin{bmatrix} x - (x) \\ y - (y) \end{bmatrix} \tag{2.65}$$

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial X_s} & \frac{\partial x}{\partial Y_s} & \frac{\partial x}{\partial Z_s} & \frac{\partial x}{\partial \omega} & \frac{\partial x}{\partial \phi} & \frac{\partial x}{\partial \kappa} \\ \frac{\partial y}{\partial X_s} & \frac{\partial y}{\partial Y_s} & \frac{\partial y}{\partial Z_s} & \frac{\partial y}{\partial \omega} & \frac{\partial y}{\partial \phi} & \frac{\partial y}{\partial \kappa} \end{bmatrix} \tag{2.66}$$

$$\xi = [dX_s \quad dY_s \quad dZ_s \quad d\omega \quad d\phi \quad d\kappa]^T \tag{2.67}$$

jika jumlah dari kontrol point adalah  $n$ , dan  $b$  dinotasikan dengan vektor  $2n \times 1$ .  $A$  merupakan data matrix koefisien,  $\xi$  ialah  $6 \times 1$  vektor parameter yang telah fix. Dimana jumlah dari persamaan kesalahan lebih dari 6, sebuah metode perataan *least square* dapat digunakan untuk mengestimasi nilai pendekatan dari vektor parameter  $\xi$  menggunakan model Gauss-Markov (*Chen Yi & Lu Jue*). Tetapi dengan anggapan bahwa hanya vektor observasi yang memiliki nilai kesalahan acak  $e$ , akan tetapi, matrik koefisien  $A$  dianggap fix atau bebas dari kesalahan.



Dengan demikian persamaan nilai observasi dapat di tampilkan seperti dibawah ini :

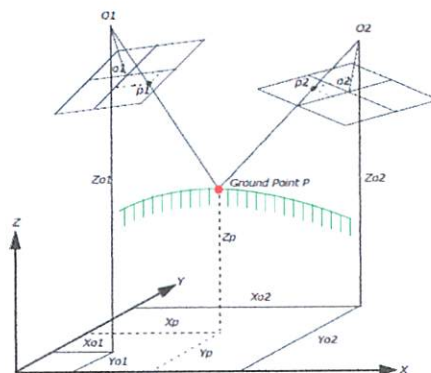
$$b - e = A.\xi$$

$$rank(A) = m < n \dots\dots\dots(2.68)$$

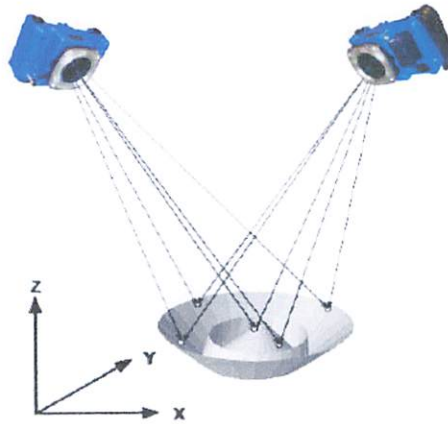
Akan tetapi, anggapan bahwa semua kesalahan random terbatas pada vektor observasi  $b$  tidak selamanya benar. Berbagai tipe kesalahan hampir ada dalam berbagai pengukuran. Kesalahan ini antara lain kesalahan model, kesalahan pengguna, kesalahan alat. Dan dengan demikian semua kesalahan tersebut mempengaruhi matrik koefisien  $A$  yang didalamnya terdapat *Unknown Errors*.

### 2.9 Interseksi

Interseksi adalah salah satu teknik yang digunakan secara umum untuk menentukan koordinat titik-titik objek (X, Y, Z) yang terdapat pada daerah pertampalan dari dua buah foto yang telah diketahui parameter interior dan parameter eksteriornya. Dengan menggunakan persamaan kondisi kolinieritas (*persamaan 2.20*) maka titik-titik koordinat objek yang terdapat pada foto dapat diketahui posisinya secara 3 dimensi (X, Y, Z).



Gambar 2.16 Reseksi foto yang bertampalan pada Aerial Photogrammetry



Gambar 2.17 Reseksi foto yang bertampalan pada Close Range Photogrammetry

Teknik reseksi ini juga dapat digunakan untuk menentukan titik *Ground Control Point's* (GCP's).

## 2.10 Self Calibrating Bundle Adjustment

### 2.10.1 Persamaan Observasi

Metode gabungan kuadrat terkecil mensyaratkan agar persamaan dituliskan untuk masing-masing observasi yang secara fisik dibuat dan untuk masing-masing parameter yang digunakan dalam model fungsional. Persamaan ini disebut dengan persamaan observasi. Persamaan observasi dikembangkan dalam tiga kelompok variabel, yaitu (King, 1993) :

- The plate coordinates*
- The camera's exterior orientation parameters
- The object point coordinates

**2.10.2 Matrik Bobot Observasi**

Salah satu keuntungan dari penerapan metode gabungan kuadrat terkecil adalah memungkinkan untuk menggabungkan parameter dan observasi yang digunakan dalam proses penyesuaian dengan mempertimbangkan bobot yang sesuai. Parameter atau observasi yang nilainya reliabel dapat digabungkan dengan bobot yang tinggi dengan sebaliknya nilai yang tidak reliabel digabungkan dengan bobot yang rendah.

Bobot dari sebuah observasi bernilai proporsional dengan varian observasi ( $\sigma^2$ ). Varian utama untuk tiap bobot dilambangkan dengan ( $\sigma_o^2$ ). Bobot dari observasi dinyatakan sebagai berikut (*King, 1993*) :

$$W = \sigma_o^2 / \sigma^2 \dots\dots\dots(2.69)$$

Matrik bobot untuk *plate coordinates observation* dalam *i* pada foto *j* sebagai berikut (*Fraser, 1997*) :

$$W_{ij} = \begin{pmatrix} 1/\sigma_x^2 & 0 \\ 0 & 1/\sigma_y^2 \end{pmatrix}_{ij} \dots\dots\dots(2.70)$$

Pembahasan mengenai matrik bobot untuk kamera dan objek sebagai berikut (*King, 1993*).

Matrik bobot diagonal untuk kamera  $j$  sebagai berikut :

$$W_j = \begin{bmatrix} 1/\sigma_\omega^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sigma_\varphi^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sigma_\kappa^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/\sigma_{XL}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\sigma_{YL}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\sigma_{ZL}^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.71)$$

untuk keseluruhan  $n$  foto sebagai berikut :

$$W = \begin{bmatrix} W_1 & & & & & \\ & \ddots & & & & \\ & & W_j & & & \\ & & & \ddots & & \\ & & & & & W_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.72)$$

Matrik diagonal untuk titik objek  $i$  sebagai berikut :

$$W = \begin{bmatrix} 1/\sigma_x^2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sigma_y^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sigma_z^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.73)$$

dan untuk keseluruhan  $m$  titik objek sebagai berikut :

$$W = \begin{bmatrix} W_1 & & & & \\ & \ddots & & & \\ & & W_j & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & W_m \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.74)$$

**2.10.3 Model Matematika**

Untuk  $m$  titik didalam  $n$  foto dengan mengacu pada persamaan observasi digabungkan untuk membentuk persamaan pengamatan sebagai berikut (King, 1993) :

$$V + A\Delta = f \dots\dots\dots(2.75)$$

Dimana  $\Delta$  merupakan matrik koreksi parameter yang dicari,  $V$  adalah matrik residu,  $A$  merupakan matrik koefisien dan  $f$  yaitu matrik observasi. Jika sekumpulan persamaan dikombinasikan dengan persamaan matrik bobotnya ( $W$ ), solusi kuadrat terkecilnya sebagai berikut (King, 1993) :

$$\begin{aligned} \Delta &= (A^T W A)^{-1} A^T W f \dots\dots\dots(2.76) \\ &= N^{-1} t \end{aligned}$$

**2.10.4 Linierisasi Persamaan Kolinier**

Persamaan dasar dari *bundle adjustment* adalah persamaan kolinier, yang mendiskripsikan satuan dasar dari *photogrammetry*. Dengan menggunakan persamaan kolinier membuat bentuk persamaan dan proses penyelesaiannya akan lebih efisien (Mikhail et al., 2001). Bentuk linier dari persamaan kolinier untuk foto  $i$  dan titik  $j$ . Karena persamaan pengamatan garis lurus tidak linier, maka untuk menghitung parameter didalamnya harus dilinierkan terlebih dahulu dengan menggunakan deret Taylor sebagai berikut (Stewart, 1999):

$$\left( \frac{df}{d\underline{x}} \cdot d\underline{x} \right)_{ij} + \left( \frac{df}{d\underline{O}} \cdot d\underline{O} \right)_{ij} + \left( \frac{df}{d\underline{X}} \cdot d\underline{X} \right)_{ij} + f(\underline{x}, \underline{O}^0, \underline{X}^0)_{ij} = 0 \dots\dots\dots(2.77)$$



Bentuk linier dari persamaan pada Persamaan (2.77) ini setara dengan persamaan hitung kuadrat terkecil (*least square observation*) menurut *Mikhail et al. (2001)* yaitu :

$$\underset{(2,1)}{v} + \underset{(2,6)(6,1)}{A_1} \delta_1 + \underset{(2,3)(3,1)}{A_2} \delta_2 + \underset{(2,10)(10,1)}{A_3} \delta_3 = \underset{(2,1)}{f} \dots\dots\dots(2.78)$$

dengan :

$$O = O^0 + \delta_1, \quad X = X^0 + \delta_2 \dots\dots\dots(2.79)$$

Keterangan :

$$v = \begin{bmatrix} v_x & v_y \end{bmatrix}_{ij}^T = \text{Residu dari koordinat foto}$$

$$f = f(\underline{x}, \underline{O}^0, \underline{X}^0)_{ij} = \text{Observasi}$$

$$\delta_1 = [d\omega_i \ d\phi_i \ d\kappa_i \ dXL_i \ dYL_i \ dZL_i]^T = \text{Koreksi parameter EO (6m vektor)}$$

$$\delta_2 = [dX_j, dY_j, dZ_j]^T = \text{Koreksi Koordinat XYZ (3n vektor)}$$

**2.10.5 Desain Matrik Self-Calibrating Bundle Adjustment**

Menurut *Mikhail et al. (2001)* dan *Wolf dan Dewitt (2000)*, jika sebuah titik objek (objek ke-j) terekam pada sebuah foto (foto ke-i), maka dimensi-dimensi matrik adalah sebagai berikut :

$$A_{ij} = \underset{(2,2)}{\begin{pmatrix} \frac{\partial f_x}{\partial x} & \frac{\partial f_x}{\partial y} \\ \frac{\partial f_y}{\partial x} & \frac{\partial f_y}{\partial y} \end{pmatrix}}_{ij} \dots\dots\dots(2.80)$$

$$v_{ij} = \underset{(2,1)}{\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix}}_{ij} \dots\dots\dots(2.81)$$

Susunan matrik  $A_1$  sebagai berikut (Fraser, 1997):

$$A_{1ij} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial f_x}{\partial \omega}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_x}{\partial \varphi}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_x}{\partial \kappa}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_x}{\partial X_L}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_x}{\partial Y_L}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_x}{\partial Z_L}\right)_0 \\ \left(\frac{\partial f_y}{\partial \omega}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_y}{\partial \varphi}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_y}{\partial \kappa}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_y}{\partial X_L}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_y}{\partial Y_L}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_y}{\partial Z_L}\right)_0 \end{bmatrix}_{ij} \quad (2.82)$$

atau secara sederhana sebagai berikut (Wolf dan Dewitt, 2000).

$$A_{1ij} = \begin{bmatrix} (b_{11})_0 & (b_{12})_0 & (b_{13})_0 & (-b_{14})_0 & (-b_{15})_0 & (-b_{16})_0 \\ (b_{21})_0 & (a_{22})_0 & (b_{23})_0 & (-b_{24})_0 & (-b_{25})_0 & (-b_{26})_0 \end{bmatrix}_{ij} \quad \dots\dots\dots(2.83)$$

Susunan matrik  $A_2$  sebagai berikut (Fraser, 1997) :

$$A_{2ij} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial f_x}{\partial X_i}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_x}{\partial X_i}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_x}{\partial X_i}\right)_0 \\ \left(\frac{\partial f_x}{\partial X_i}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_x}{\partial X_i}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_x}{\partial X_i}\right)_0 \end{bmatrix}_{ij} \quad \dots\dots\dots(2.84)$$

atau (Wolf dan Dewitt, 2000)

$$A_{2ij} = \begin{bmatrix} (b_{14})_0 & (b_{15})_0 & (b_{16})_0 \\ (b_{24})_0 & (b_{25})_0 & (b_{26})_0 \end{bmatrix}_{ij} \quad \dots\dots\dots(2.85)$$

$A_1$  mempunyai dimensi 2x6 sedangkan  $A_2$  mempunyai dimensi 2x3 dimana untuk tiap titik objek ke-j yang terekam pada foto ke-i.

Susunan matrik  $f$  sebagai berikut (Fraser, 1997) :

$$f_{ij} = \begin{bmatrix} J \\ K \end{bmatrix}_{ij} \quad \dots\dots\dots(2.86)$$

Penjelasan elemen matrik  $A$  dan matrik  $f$  seperti yang ada pada persamaan (2.35 dan 2.57) (Wolf and Dewitt, 2000) :

Untuk matrik  $\delta_{1i}$  dan  $\delta_{2j}$  struktur matriknya sebagai berikut (Mikhail et al. 2001) :

$$\delta_{1i} = \begin{bmatrix} \delta\omega \\ \delta\phi \\ \delta\kappa \\ \delta X_L \\ \delta Y_L \\ \delta Z_L \end{bmatrix}_i \dots\dots\dots(2.87)$$

$$\delta_{2j} = \begin{bmatrix} \delta X \\ \delta Y \\ \delta Z \end{bmatrix}_j \dots\dots\dots(2.88)$$

Dimana  $\delta_1$  besar dimensinya  $6m \times 1$  dan  $\delta_2$  besar dimensinya  $3n \times 1$ .

Didalam kamera dijital SLR terdapat bidang sensor CCD/CMOS dan susunan lensa, dimana susunan lensa ini mentransformasikan (*transformasi perspektif*) gambaran suatu titik obyek di permukaan bumi ke bidang foto dijital. Karena adanya kesalahan sistematis pada bidang sensor dan susunan lensa ini, maka gambaran titik pada bidang foto mengalami distorsi. Karena koordinat titik-titik obyek ini menjadi fokus pembahasan, maka untuk mendapatkan nilai koordinat dengan akurasi tinggi, maka kesalahan sistematis ini harus dihilangkan atau diminimalkan pengaruhnya terhadap ketelitian titik-titik obyek. Teknik “*Self-Calibrating*” merupakan cara yang paling umum untuk meminimalkan kesalahan sistematis ini yang diperkenalkan oleh *Brown* di akhir tahun 1960 (1974) dan sudah dianggap teknik baku sejak tahun 1980an (*Gruen, 1985a*). Pada prinsipnya, teknik menggunakan parameter kalibrasi ke dalam model fungsi  $\Delta x$  dan  $\Delta y$  didalam sistem persamaan kolinier (2.64). *Forstner et al. (2004)* menyebutkan model fisik kesalahan sistematis ini dapat dituliskan sebagai:

$$A_3 \delta_3 = \begin{pmatrix} -1 & 0 & -\frac{\bar{x}}{c} & \bar{x}r^2 & \bar{x}r^4 & \bar{x}r^6 & 2\bar{x}^2 + r & 2\bar{x}\bar{y} & \bar{x} & \bar{y} \\ 0 & -1 & -\frac{\bar{y}}{c} & \bar{y}r^2 & \bar{y}r^4 & \bar{y}r^6 & 2\bar{x}\bar{y} & 2\bar{y}^2 + r & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta x_0 \\ \delta y_0 \\ \delta c \\ \delta k_1 \\ \delta k_2 \\ \delta k_3 \\ \delta p_1 \\ \delta p_2 \\ \delta b_1 \\ \delta b_2 \end{pmatrix} \quad (2.89)$$

Dimana rumusan ini adalah elemen  $A_3$  dan  $\delta_3$ , dan parameter-parameter ini dikenal sebagai parameter tambahan di dalam teknik *Bundle Adjustment*.

$$\begin{pmatrix} A_1^T P A_1 & A_1^T P A_3 & A_1^T P A_2 \\ A_3^T P A_1 & A_3^T P A_3 & A_3^T P A_2 \\ A_2^T P A_1 & A_2^T P A_3 & A_2^T P A_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_3 \\ \delta_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} A_1^T P w \\ A_3^T P w \\ A_2^T P w \end{pmatrix} = 0 \dots\dots\dots (2.90)$$

Atau

$$\begin{pmatrix} \dot{N}_{ij} & \tilde{N}_i & \bar{N}_{ij} \\ \tilde{N}_i^T & \ddot{N}_p & \hat{N}_j \\ \bar{N}_{ij}^T & \hat{N}_j^T & \dot{N}_{ij} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_3 \\ \delta_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \dot{C}_i \\ \ddot{C}_p \\ \ddot{C}_j \end{pmatrix} = 0 \dots\dots\dots (2.91)$$

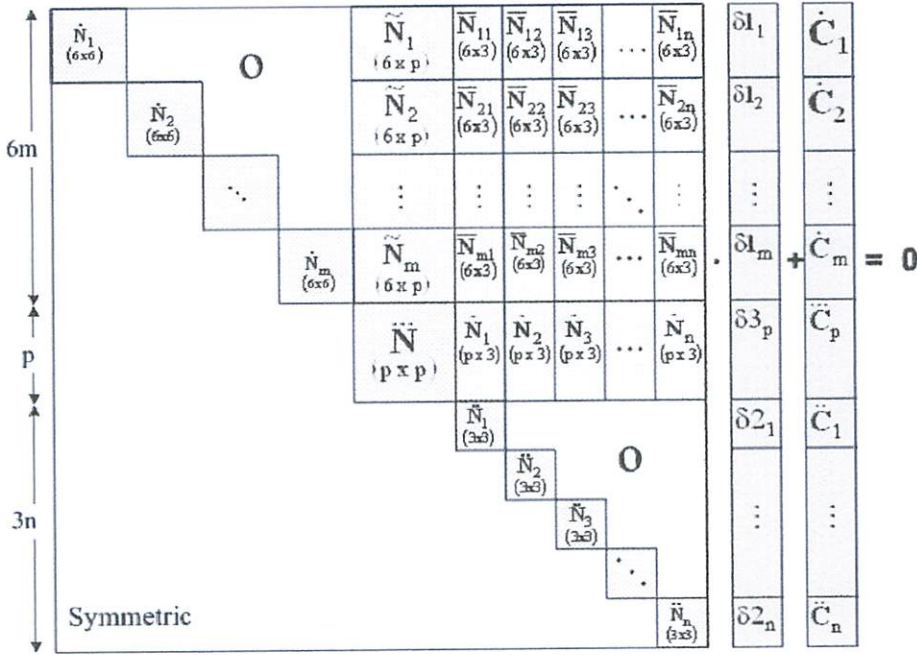
Atau

$$N\delta + C = 0 \quad ; \quad C_x = \sigma_0^2 N^{-1} = \sigma_0^2 Q_x \dots\dots\dots (2.92)$$

Dimana

$$\begin{aligned} \tilde{N}_i &= A_{1ij}^T P_{ij} A_3 & \ddot{N}_p &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_3^T P_{ij} A_3 \\ \hat{N}_j &= A_3^T P_{ij} A_{2ij} & \ddot{C}_p &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_3^T P_{ij} w_{ij} \end{aligned} \dots\dots\dots (2.93)$$

Dimana  $C_x$  dan  $Q_x$  adalah matrik kovarian dan kofaktor dari parameter tambahan yang berjumlah 10 buah. Dan gambar (2.18) merupakan komposisi dari Rumus (2.91)



Gambar 2.18 Struktur persamaan normal dengan parameter tambahan

Solusi hitung kuadrat terkecil dapat ditentukan dengan menggunakan matrik inverse Cayley N-1. Tetapi matrik N memiliki rank defect sebesar parameter penentuan datum (Cooper and Cross, 1988; 1991), yaitu 7 (Granshaw, 1980). Singularitas matrik N ini dapat diselesaikan dengan menambahkan parameter datum secara implisit untuk membentuk persamaan normal yang non-singular seperti:

$$\begin{pmatrix} \dot{N}_{ij} & \tilde{N}_i & \bar{N}_{ij} & 0 \\ \tilde{N}_i^T & \ddot{N}_p & \hat{N}_j & 0 \\ \bar{N}_{ij}^T & \tilde{N}_j^T & \dot{N}_{ij} & G \\ 0 & 0 & G^T & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_3 \\ \delta_2 \\ k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \dot{C}_i \\ \ddot{C}_p \\ \dot{C}_j \\ 0 \end{pmatrix} = 0 ; \text{ atau } N\delta + C = 0 \dots\dots\dots (2.94)$$



Dimana  $G$  adalah matrik transformasi *Helmert* dan  $k$  adalah faktor pengali

*Lagrangian*. Matrik  $G$  didefinisikan sebagai:

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & Z_j & -Y_j & X_j \\ 0 & 1 & 0 & -Z_j & 0 & X_j & Y_j \\ 0 & 0 & 1 & Y_j & -X_j & 0 & Z_j \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2.95)$$

Teknik hitungan yang dipakai untuk menyelesaikan Persamaan (2.94) ada beberapa macam, seperti misalnya teknik *minimum constraint*, *S-transformation*, *Pseudo Inverse*, dan *Free-Net Adjustment* (Tjahjadi, 2008b). Tetapi, teknik yang paling sesuai didalam kasus ini adalah teknik yang dapat mengoptimalkan tingkat keakurasian koordinat titik-titik obyek. Dengan kata lain, harus dipilih suatu teknik yang dapat meminimumkan matrik kovarian dari titik-titik obyek.

### 2.11 Program Matlab

Matlab adalah bahasa pemrograman level tinggi (dalam dunia pemrograman semakin tinggi level bahasa semakin mudah cara menggunakannya) yang dikhususkan untuk komputasi teknis. Bahasa ini mengintegrasikan kemampuan komputasi, visualisasi dan pemrograman dalam sebuah lingkungan yang tunggal dan mudah digunakan. Matlab memberikan sistem interaktif yang menggunakan konsep array/matrik sebagai standar variabel elemennya tanpa membutuhkan pen-deklarasi-an array seperti bahasa lainnya.

Matlab dikembangkan oleh MathWorks, yang pada awalnya dibuat untuk memberikan kemudahan mengakses data matrik pada proyek LINPACK dan EISPACK. Selanjutnya menjadi sebuah aplikasi untuk komputasi matrik. Dari sejak awal dipergunakan, matlab memperoleh masukan ribuan pemakai. Dalam lingkungan pendidikan ilmiah menjadi alat pemrograman standar bidang Matematika, Rekayasa

dan Keilmuan terkait. Dan dalam lingkungan industri dapat menjadi pilihan paling produktif untuk riset, pengembangan dan analisa.

Tipe data yang dikenal dalam pemrograman matlab hanya dua yaitu *Numeric* dan *String*. Tidak seperti bahasa pemrograman yang lain, dalam pemrograman matlab tidak dibutuhkan deklarasi eksplisit yang menyatakan tipe data yang dimasukkan oleh pemrogram pada setiap variabelnya, dan dapat secara dinamis mengganti tipe data tersebut pada waktu yang relatif bersamaan tanpa adanya kesalahan. Namun demikian ada beberapa hal penting yang harus diperhatikan dalam penulisan sintak, yaitu :

- a. Penamaan Variabel bersifat *Case Sensitive*, artinya matlab akan membedakan adanya huruf besar dan kecil dalam penamaan.
- b. Panjang nama variabel tidak dapat melebihi 31 karakter.
- c. Penamaan variabel harus selalu diawali dengan huruf, tidak boleh dengan bilangan, simbol dan lain-lain.

#### A. Cara Penulisan Variabel

Matlab menggunakan variabel sebagai media bagi pemrogram untuk menempatkan data input/output. Ada beberapa cara penulisan yang dapat digunakan sesuai jenis data yang ingin di olah, yaitu :

- a. Data numerik tunggal
- b. Data numerik berdimensi banyak (array/matrik)

Beberapa hal penting penggunaan perintah matlab :

- Tanda ( ; ) pada akhir command menunjukkan hasil command tidak ditampilkan pada layar.
- Tanda ( [ ] ) digunakan untuk penulisan batas awal dan batas akhir elemen matrik.

- Tanda ( : ) dalam deklarasi matrik digunakan untuk pemisahan antar baris dalam matrik (*carriage return*).
- Tanda ( , ) dalam deklarasi matrik berarti sama dengan spasi atau pemisahan antar elemen dalam satu baris matrik.
- Data string/teks

## B. Operasi Matematika

Operasi matematika dalam pemrograman matlab sangat sederhana, sama halnya dengan memakai kalkulator biasa. Berikut adalah tabel operator matematika yang digunakan dalam pemrograman matlab.

Operasi	Simbol	Contoh
Penjumlahan	+	$A + B$
Pengurangan	-	$A - B$
Perkalian	*	$A * B$
Pembagian	/ atau \	$A / B$ atau $A \setminus B$
Perpangkatan	^	$A ^ B$

Pengetahuan tentang matrik adalah suatu hal yang sangat mendasar dalam pemrograman matlab, karena semua pola operasi matematika akan dikembalikan dalam pola operasi matematika matrik.

## BAB III

### PELAKSANAAN PENELITIAN

#### 3.1 Persiapan

Sebelum melakukan sebuah penelitian diperlukan persiapan yang cukup untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam proses penelitian, yaitu :

##### 3.1.1 Materi Penelitian

Adapun materi yang digunakan sebagai bahan dalam penelitian ini meliputi data foto, data parameter *Interior Orientation*, data parameter *Exterior Orientation*, data parameter *Objec Space Point* yang disesuaikan dengan batasan penelitian ini :

##### A. Data Foto

Merupakan data dasar yang dibutuhkan dalam proses *Close Range Photogrammetry*.

##### B. Data Parameter *Interior Orientation*

Parameter interior mendefinisikan geometri internal sebuah kamera antara lain *perspektif center*, *principle point*, serta panjang fokus dari kamera ( $x_0$ ,  $y_0$ ,  $f$ ).

##### C. Data Parameter *Exterior Orientation*

Parameter eksterior terdiri dari 6 parameter diantaranya 3 parameter rotasi yaitu rotasi *omega* terhadap sumbu x, rotasi *phi* terhadap sumbu y, dan rotasi *kappa* terhadap sumbu z. Selain itu terdapat 3 parameter posisi kamera yaitu  $X_L$ ,  $Y_L$ , dan  $Z_L$ .



#### D. Data Parameter *Object Space Point*

Parameter *Object Space Point* ( $X_A, Y_A, Z_A$ ) didapat dari proses *Intersection* pada *Software Australis*.

### 3.1.2 Alat Penelitian

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

#### A. Perangkat Lunak

- a. *Australis Version 6.05* merupakan *software* yang digunakan untuk mendapatkan data parameter *Exterior Orientation (EO)* pendekatan yaitu ( $X_L, Y_L, Z_L, \omega, \varphi, \kappa$ ) dan data parameter *Object space* pendekatan yaitu ( $X_i, Y_i, Z_i$ ) serta data koordinat foto.
- b. *Matlab R2008b* adalah sebuah perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk membuat program *self calibrating bundle adjustment*.
- c. *Microsoft Office excel 2007* merupakan perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk melihat hasil dari proses perhitungan kalibrasi kamera IP stereo.

#### B. Perangkat Keras

- a. Laptop *lenovo E120*



b. Kamera Canon S90



*Gambar 3.1 Kamera Canon S90*

c. Pesawat Tanpa Awak (*Unnamed Aerial Vehicle*)

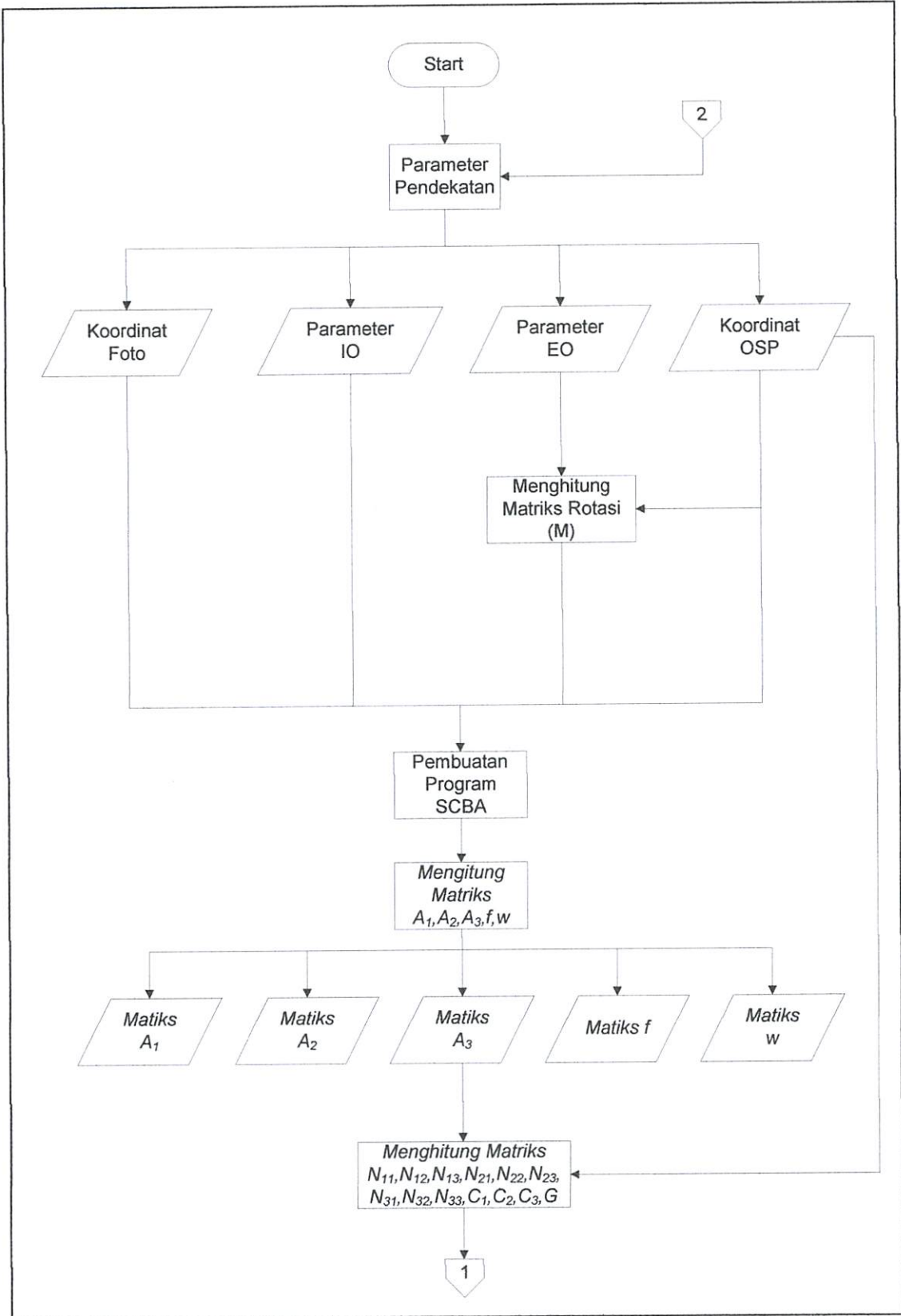


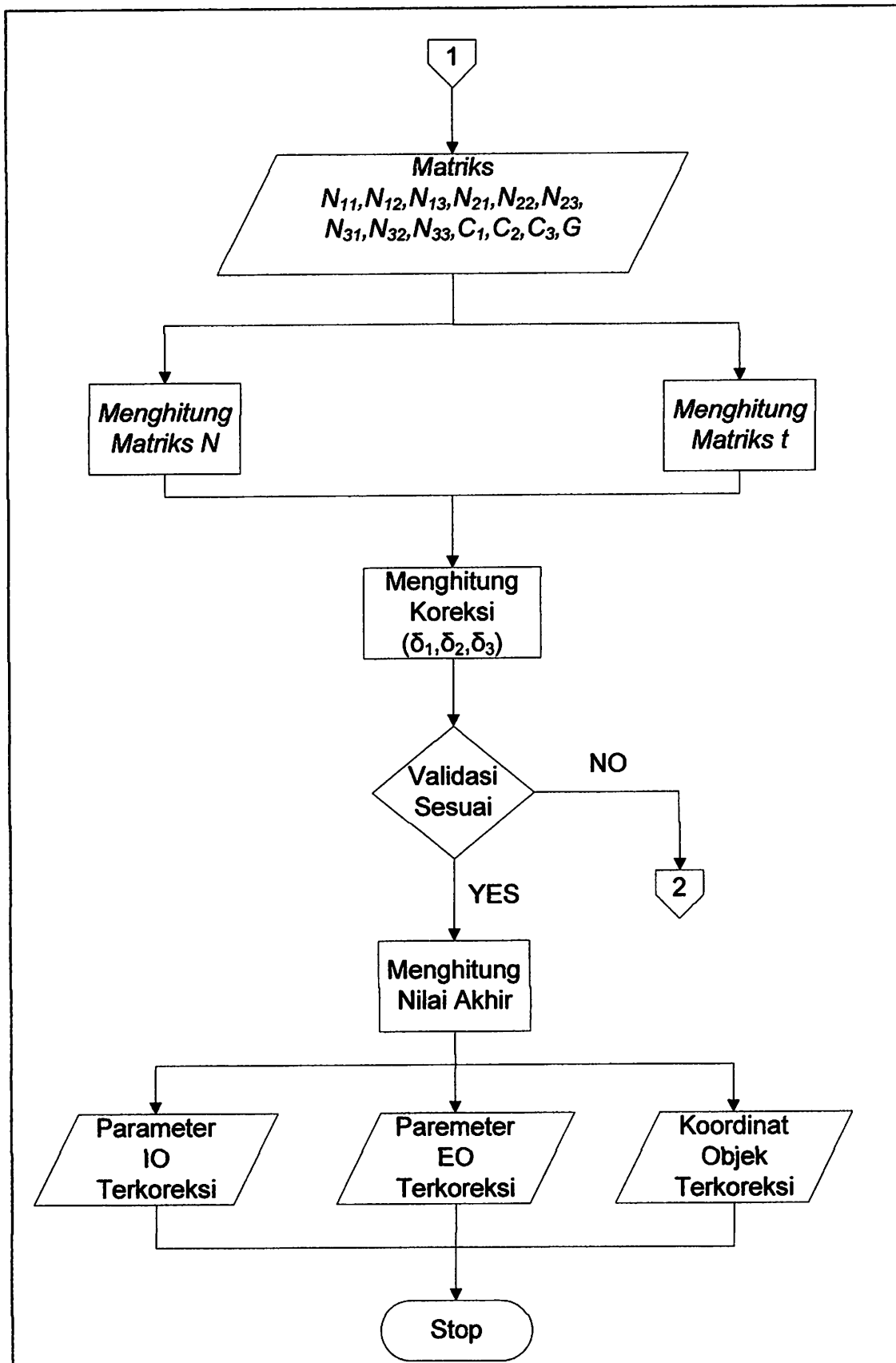
*Gambar 3.2 Pesawat UAV*

### **3.2 Pelaksanaan 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 :

Diagram Alir Penelitian :





Gambar 3.1 Skema diagram alir pelaksanaan penelitian

### 3.3 Keterangan Diagram Alir Penelitian

Tahapan pertama yang harus dilakukan adalah menyiapkan segala unsur-unsur yang dapat digunakan untuk mendukung kelancaran proses penelitian, baik berupa lokasi penelitian, materi, alat dan bahan penelitian, metode penelitian dan metode perhitungan yang akan digunakan.

#### 3.3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data penelitian dilakukan dengan proses ekstraksi data foto menggunakan *software australis v6.05* untuk mendapatkan parameter pendekatan seperti data parameter *interior orientation* yang terdiri dari *principle point*  $(x_0, y_0, f)$  serta 7 parameter tambahan/kalibrasi  $(K_1, K_2, K_3, P_1, P_2, b_1, b_2)$ , Parameter EO yang terdiri dari 3 parameter rotasi  $(\omega, \phi, \kappa)$  dan 3 parameter posisi kamera  $(XL, YL, ZL)$ , parameter *object space point*  $(XA, YA, ZA)$  serta koordinat foto.

#### 3.3.2 Proses Perhitungan

##### 3.3.2.1 Perhitungan Matrik Rotasi (R)

Matrik rotasi dari parameter  $\omega, \phi$  dan  $\kappa$  didapat nilai matrik rotasi secara utuh sebagai berikut (Cooper & Robson, 2001) :

$$R_{\omega\phi\kappa} = \begin{vmatrix} \cos \phi \cos \kappa & \sin \omega \sin \phi \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa & -\cos \omega \sin \phi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa \\ -\cos \phi \sin \kappa & -\sin \omega \sin \phi \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa & \cos \omega \sin \phi \sin \kappa + \sin \omega \cos \kappa \\ \sin \phi & -\sin \omega \cos \phi & \cos \omega \cos \phi \end{vmatrix}$$

atau

$$R = \begin{vmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{vmatrix}$$

### 3.3.2.2 Perhitungan Matrik $A_1, A_2, A_3, f, w$

Dalam perhitungan ini digunakan beberapa parameter yakni parameter *interior orientation*, parameter *eksterior orientation*, parameter *object space point* serta parameter matrik rotasi, dengan menggunakan persamaan berikut :

Susunan matrik  $A_1$  sebagai berikut (Fraser, 1997):

$$A_{1ij} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial f_x}{\partial \omega}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_x}{\partial \varphi}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_x}{\partial \kappa}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_x}{\partial X_L}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_x}{\partial Y_L}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_x}{\partial Z_L}\right)_0 \\ \left(\frac{\partial f_y}{\partial \omega}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_y}{\partial \varphi}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_y}{\partial \kappa}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_y}{\partial X_L}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_y}{\partial Y_L}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_y}{\partial Z_L}\right)_0 \end{bmatrix}_{ij}$$

Susunan matrik  $A_2$  sebagai berikut (Fraser, 1997) :

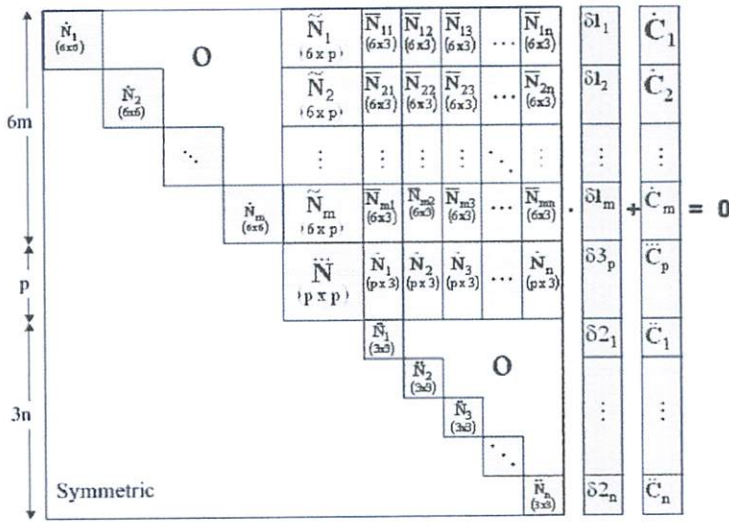
$$A_{2ij} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial f_x}{\partial X_i}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_x}{\partial X_i}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_x}{\partial X_i}\right)_0 \\ \left(\frac{\partial f_x}{\partial X_i}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_x}{\partial X_i}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_x}{\partial X_i}\right)_0 \end{bmatrix}_{ij}$$

Susunan matrik  $A_3$  sebagai berikut (Fraser, 1997):

$$A_3 \delta_3 = \begin{pmatrix} -1 & 0 & -\frac{\bar{x}}{c} & \bar{x}r^2 & \bar{x}r^4 & \bar{x}r^6 & 2\bar{x}^2 + r & 2\bar{x}\bar{y} & \bar{x} & \bar{y} \\ 0 & -1 & -\frac{\bar{y}}{c} & \bar{y}r^2 & \bar{y}r^4 & \bar{y}r^6 & 2\bar{x}\bar{y} & 2\bar{y}^2 + r & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta x_0 \\ \delta y_0 \\ \delta c \\ \delta k_1 \\ \delta k_2 \\ \delta k_3 \\ \delta p_1 \\ \delta p_2 \\ \delta b_1 \\ \delta b_2 \end{pmatrix}$$







Susunan matrik transformasi helmert (G) sebagai berikut :

$$\begin{pmatrix} \dot{N}_{ij} & \tilde{N}_i & \bar{N}_{ij} & 0 \\ \tilde{N}_i^T & \ddot{N}_p & \bar{N}_j & 0 \\ \bar{N}_{ij}^T & \tilde{N}_j^T & \ddot{N}_j & G \\ 0 & 0 & G^T & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_3 \\ \delta_2 \\ k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \dot{C}_i \\ \ddot{C}_p \\ \ddot{C}_j \\ 0 \end{pmatrix} = 0 ; \text{ atau } N\delta + C = 0$$

### 3.3.2.4 Menghitung Matriks Koreksi ( $\delta_1$ , $\delta_2$ dan $\delta_3$ )

Setelah disusun matriks  $N$  dan  $t$ , maka nilai koreksi untuk tiap-tiap parameternya dapat dihitung. Dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\delta = N^{-1}t$$

maka akan diperoleh nilai koreksi  $\delta_1$  yaitu nilai koreksi untuk parameter EO,  $\delta_2$  yaitu koreksi untuk titik-titik objek dan  $\delta_3$  yaitu untuk parameter kalibrasi kamera.

### 3.3.2.5 Menghitung Nilai Residu ( $v$ )

Hitung nilai residu ( $v$ ) dari menggunakan data matriks  $N$ ,  $\delta$  dan  $t$ . Proses perhitungannya dapat menggunakan persamaan berikut :

$$v = N\delta - t$$

Jika nilai residu tidak sesuai, maka perlu dilakukan proses iterasi sampai mendapatkan nilai residual yang sekecil-kecilnya. Proses iterasi ini memerlukan pengulangan proses yang sama sesuai dengan diagram alir dimulai kembali dari tahap menghitung semua parameter awal. Jika nilai residual yang diinginkan telah terpenuhi atau sesuai, maka proses iterasi dihentikan.

### 3.3.2.6 Menghitung Nilai Akhir

Menghitung nilai akhir, dimana proses *self calibrating bundle adjustment* akan mendapatkan nilai parameter EO terkoreksi, koordinat titik objek terkoreksi dan parameter kalibrasi kamera. Dimana penyelesaiannya menggunakan persamaan berikut :

$$O = O^0 + \delta_1 \quad : \text{(Parameter orientasi luar (EO) yang terkoreksi)}$$

$$X = X^0 + \delta_2 \quad : \text{(Koordinat titik objek yang terkoreksi)}$$

$$\delta_3 \quad : \text{(Parameter kalibrasi kamera)}$$

### 3.3.2.7 Menghitung Ketelitian Varian-Kovarian

Hasil dari proses *bundle adjustment* dengan nilai residual yang kecil berupa koordinat *object space point* final beserta nilai ketelitiannya dan parameter eksterior orientasi.

## 3.4 Pengambilan Data Foto Kalibrasi

### A. Persiapan

Untuk melakukan pekerjaan pengambilan data, harus dipersiapkan secara maksimal semua peralatan yang dibutuhkan dengan maksud tujuan untuk

meminimalisir kesalahan pada saat pengambilan data. Persiapan ini juga merupakan langkah melakukan pemasangan target /patok untuk titik-titik kalibrasi dan titik uji (detail) yang dilengkapi dengan pemasangan kain di empat sisi tepi untuk menandai posisi patok beada ditengah untuk mempermudah proses dijitasi dan tidak lupa memasanga tiang bendera dengan panjang  $\pm 15m$  untuk mengetahui arah angin sebelum melakukan pemotretan.



*Gambar 3.3 Pemasangan Tiang Bendera*



*Gambar 3.4 Titik Poligon*



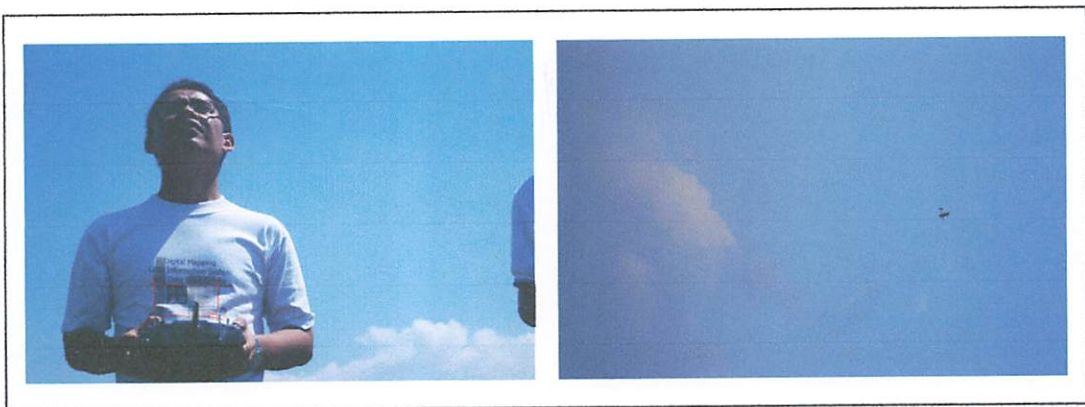


*Gambar 3.5 Titik-titik Kalibrasi*

- a. Perakitan pesawat tanpa awak (UAV).
- b. Memasang kamera canon S90 pada badan pesawat UAV.
- c. Aktifkan wireless pada pesawat UAV yang telah dipasang.

#### B. Pengambilan Data Foto

Pengambilan data foto menggunakan kamera *Pocket Canon S90* yang ditempatkan disuatu wahana pesawat tanpa awak *Unmanned Aerial Vehicle = UAV*) yang dikendalikan dari jarak jauh.



*Gambar 3.6 Pengambilan data foto menggunakan pesawat UAV*





Gambar 3.7 Hasil pemotretan pesawat UAV

Dari hasil pemotretan menggunakan pesawat tanpa awak (*Unmanned Aerial Vehicle = UAV*) selanjutnya dilakukan proses ekstraksi data foto menggunakan *software australis* untuk mendapatkan parameter pendekatan antara lain parameter *Exterior Orientation* (EO), Koordinat *Object Space Point* (OSP) pendekatan serta koordinat foto dan akurasi dari koordinat foto. Sedangkan untuk parameter *Interior Orientation* (IO) digunakan nilai pendekatan nol dengan fokus sesuai dengan nilai pada saat pemotretan.

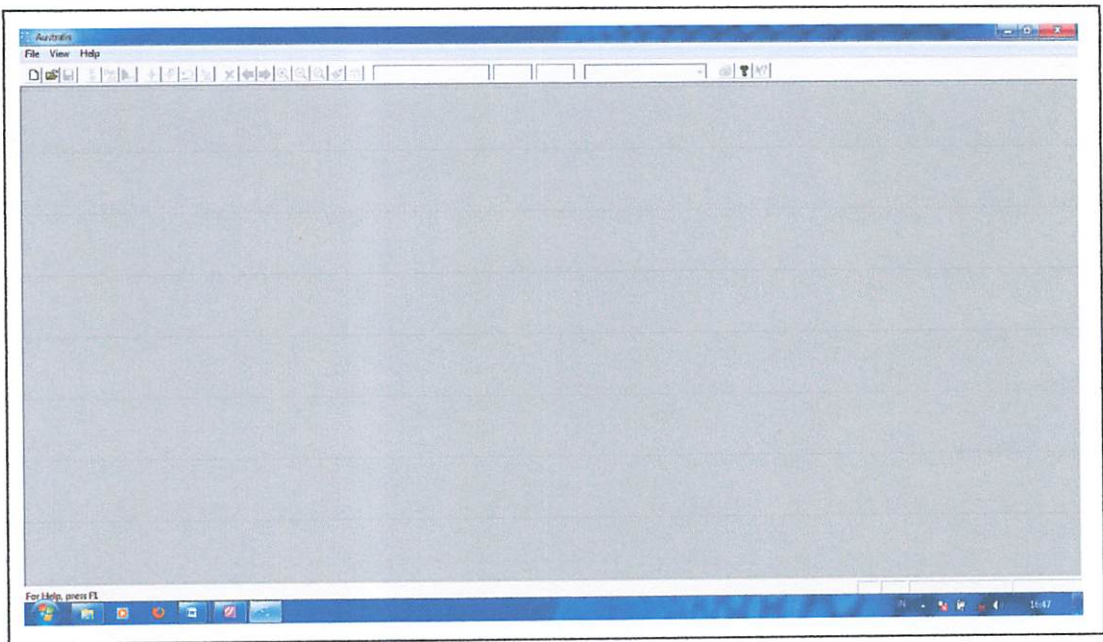
### 3.5 Ekstraksi Data Foto Menggunakan Software Australis

*Software Australis* merupakan salah satu *software* yang digunakan dalam memproses data foto digital untuk mendapatkan data parameter *Exterior Orientation* (EO) pendekatan yaitu  $(X_L, Y_L, Z_L, \omega, \varphi, \kappa)$  dan data parameter *Object space* pendekatan yaitu  $(X_i, Y_i, Z_i)$  serta data koordinat foto. Adapun proses pengolahan data foto kalibrasi UAV menggunakan *software australis* akan dijelaskan sebagai berikut :


- a. Siapkan sebuah folder kosong, kemudian masukan data foto yang akan diolah sebagai data awal proses fotogrametri. Hal ini sangat penting dilakukan, karena

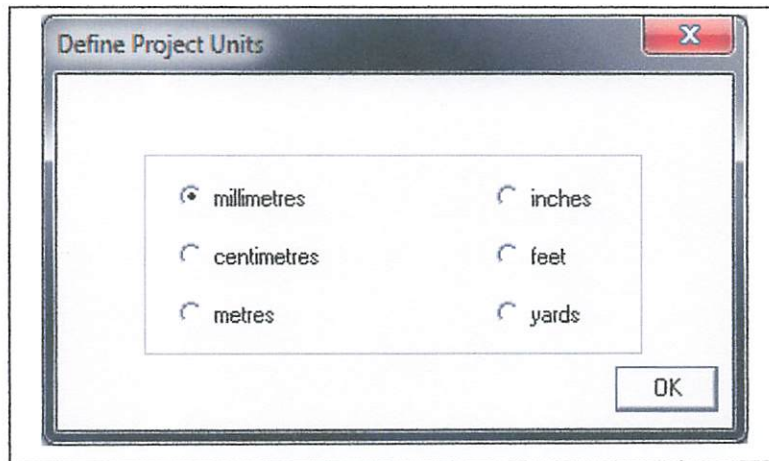
pada aplikasi ini akan secara otomatis menyimpan seluruh hasil proses fotogrametri dalam folder data tersebut.

- b. Buka aplikasi *Australis* dengan melakukan *double-click* pada *icon Australis* yang berada pada *desktop*. Sehingga, akan muncul sebuah tampilan awal aplikasi sebagai berikut :



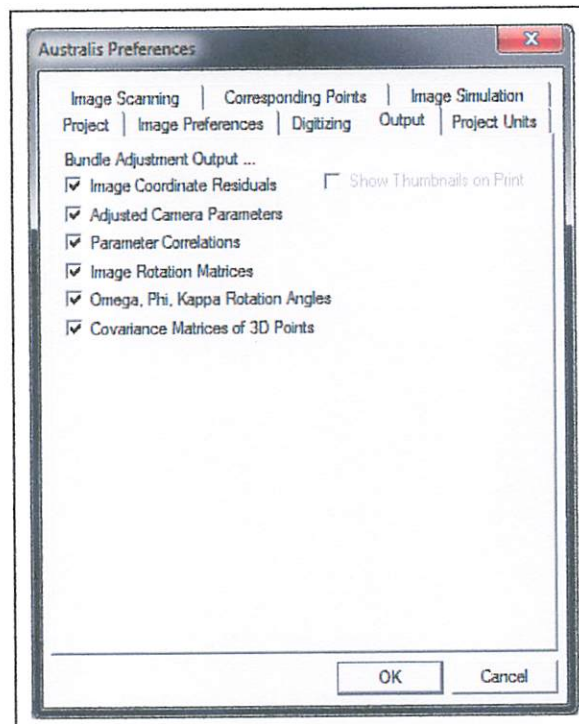
Gambar 4.7 Tampilan awal australis

- c. Untuk memulai *project* baru, *click*  atau melalui menu *File* → *New*. Kemudian akan muncul sebuah jendela *Define Project Units* → *Cawang salah satu pilihan* → *OK* untuk menentukan jenis satuan ukuran yang akan digunakan (meter, centimeter, milimeter, dan sebagainya).



Gambar 4.8 Define Project Units

d. Sebelum melakukan pengolahan foto, terlebih dahulu melakukan *setting* terhadap nilai parameter keluaran yang dibutuhkan dengan cara *click* pada menu *Project* → *Preference* → Muncul jendela *Australis Preference* → *Tab Output*. Berikan tanda cawang pada tiap pilihan *Bundle Adjustment Output*, seperti pada gambar dibawah ini, kemudian *click* OK.

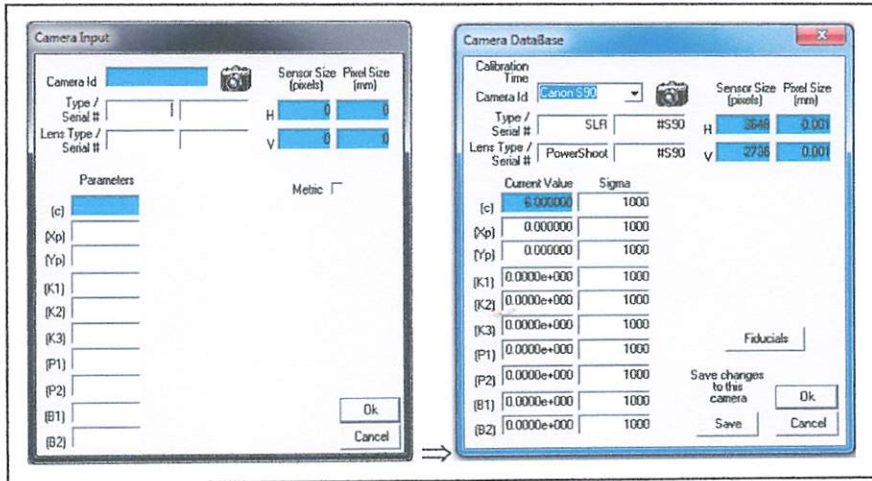


Gambar 4.9 Australis Preferences






e. Selanjutnya, *click* kanan pada *Camera Database* → *Add Camera Database*.

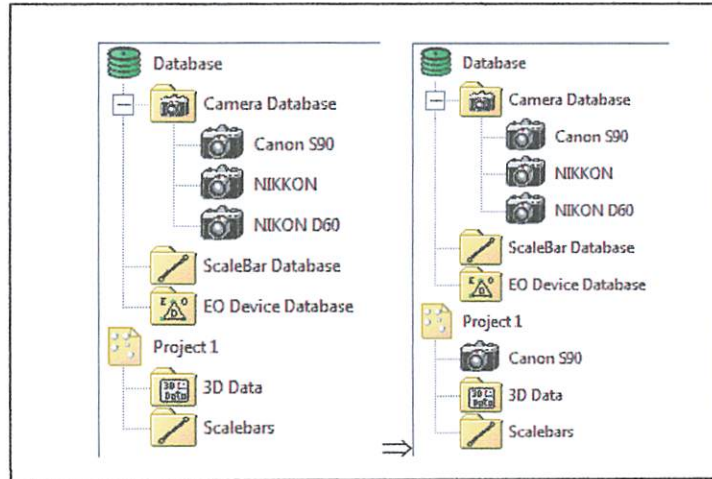
Sehingga akan muncul sebuah jendela *Camera Input* seperti dibawah ini.



Gambar 4.10 *Camera Input*

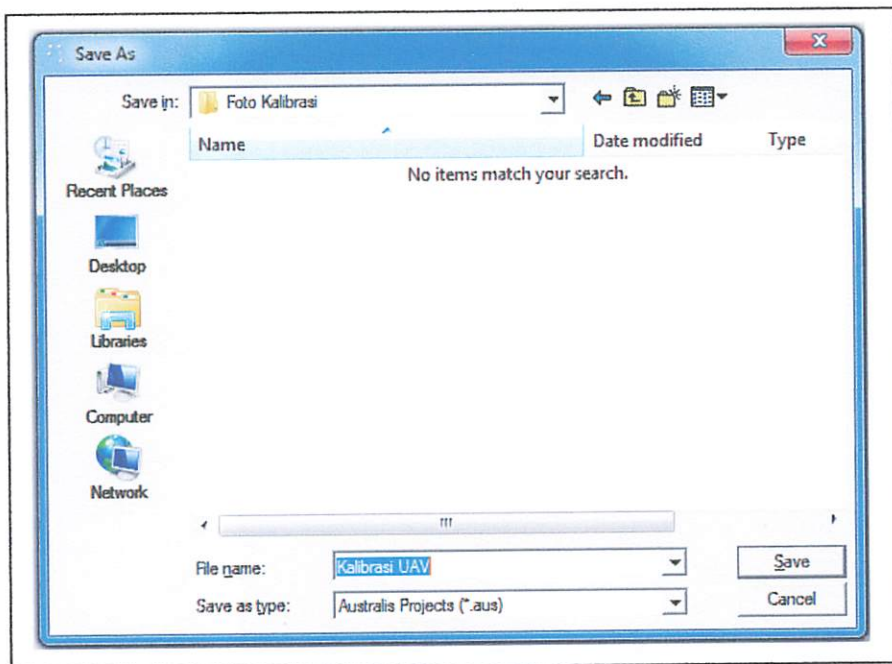
Isi tiap kolom parameter dengan data *Id camera*, ukuran sensor kamera, ukuran piksel, dan 10 parameter kalibrasi kamera berupa panjang fokus, *principle point* ( $x_0, y_0$ ), 3 parameter distorsi radial, 2 parameter distorsi *decentering*, dan 2 parameter distorsi *affinity*. *Click* OK untuk menyimpan data parameter kamera. Di dalam *Camera Input*, parameter yang wajib diisi adalah data yang kolomnya berwarna biru yaitu *Id camera*, ukuran sensor kamera, ukuran piksel, dan panjang fokus.

f. Untuk memulai proses pengolahan data foto pada *Project*, *click-tahan*  pada *Camera Database* → arahkan / letakkan pada *icon*  (nama *project*) → sehingga akan muncul *icon*  yang sama dengan *Id Camera* pada *Camera Database*.



Gambar 4.11 Project Dengan Id Camera Yang Sama


g. Simpan *project* untuk pertama kali, dan secara otomatis akan muncul jendela *Save As* seperti dibawah ini.

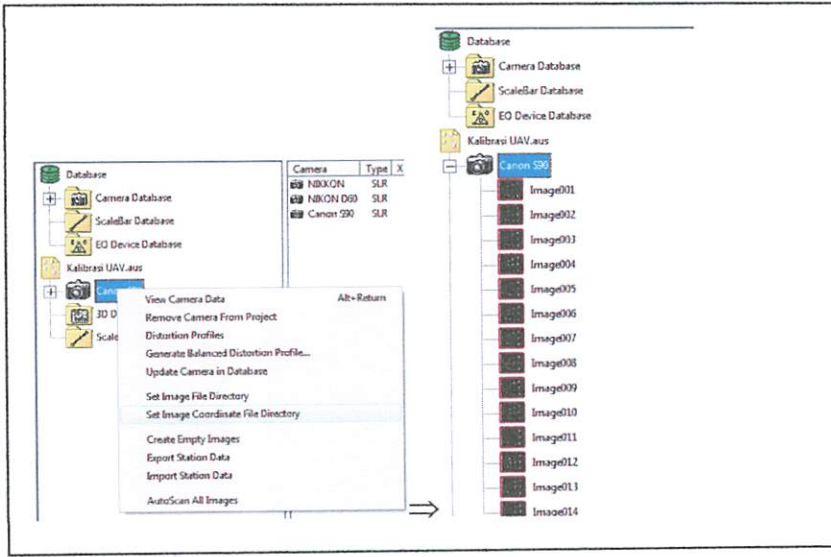


Gambar 4.12 Penyimpanan Project




Beri nama *project* sesuai keinginan kemudian *click Save*. Perlu di ingat *file project (\*.aus)* harus disimpan satu folder bersama dengan *file* foto yang akan diolah.

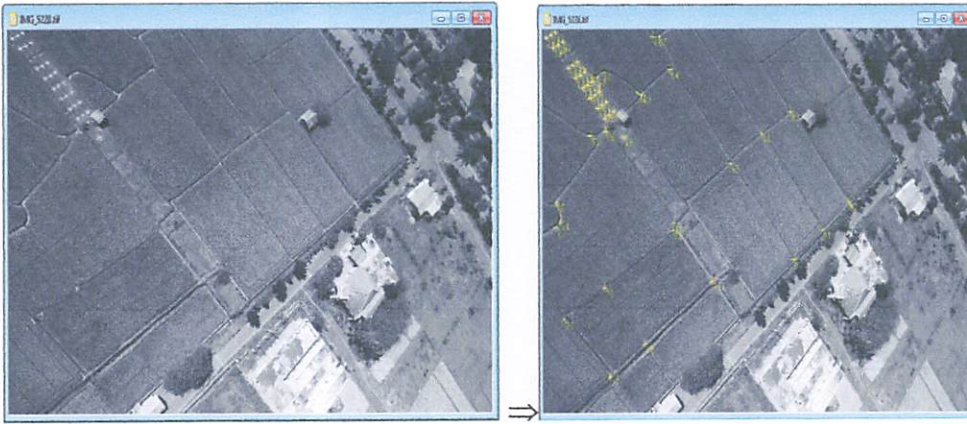


- h. Setelah seluruh parameter kamera berada pada struktur *Project.aus*, langkah selanjutnya ialah melakukan *input* data foto dengan cara *click* kanan pada  yang berada didalam *Project.aus* → *Set Image File Directory* → *Open*. Seluruh file foto akan secara otomatis masuk kedalam struktur *Project.aus*.



Gambar 4.13 Penginputan Data Foto

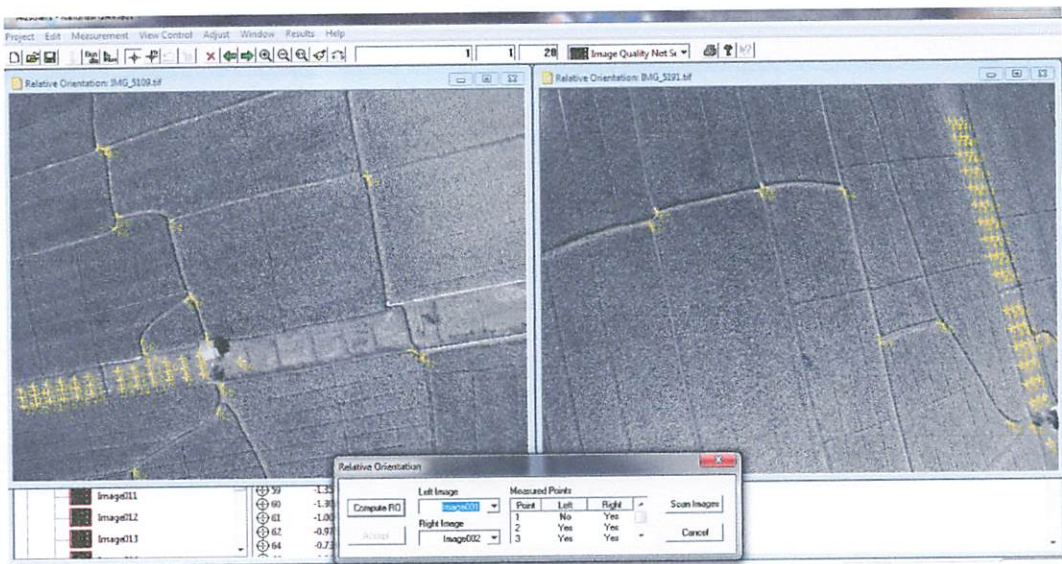
- i. Apabila seluruh data foto yang akan diolah telah masuk ke dalam *project* yang telah dibuat, proses selanjutnya ialah melakukan ekstraksi data koordinat foto menggunakan metode *centroid* dengan cara *double-click* pada  Image001 → muncul sebuah jendela yang berisikan sebuah foto → aktifkan icon  dan icon  pada *toolbar* → kemudian arahkan *pointer* ke target yang ingin diekstraksi data fotonya → *click target* → muncul *tanda silang dan nomor id* titik yang menandakan target telah ditandai.



Gambar 4.14 Proses Ekstraksi Data Koordinat Foto

Lakukan langkah diatas pada seluruh titik target yang terlihat pada foto tersebut.

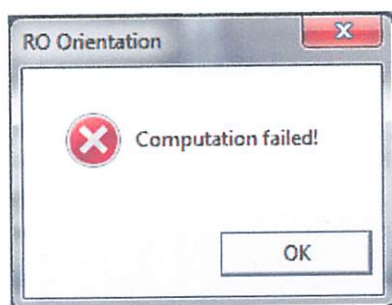
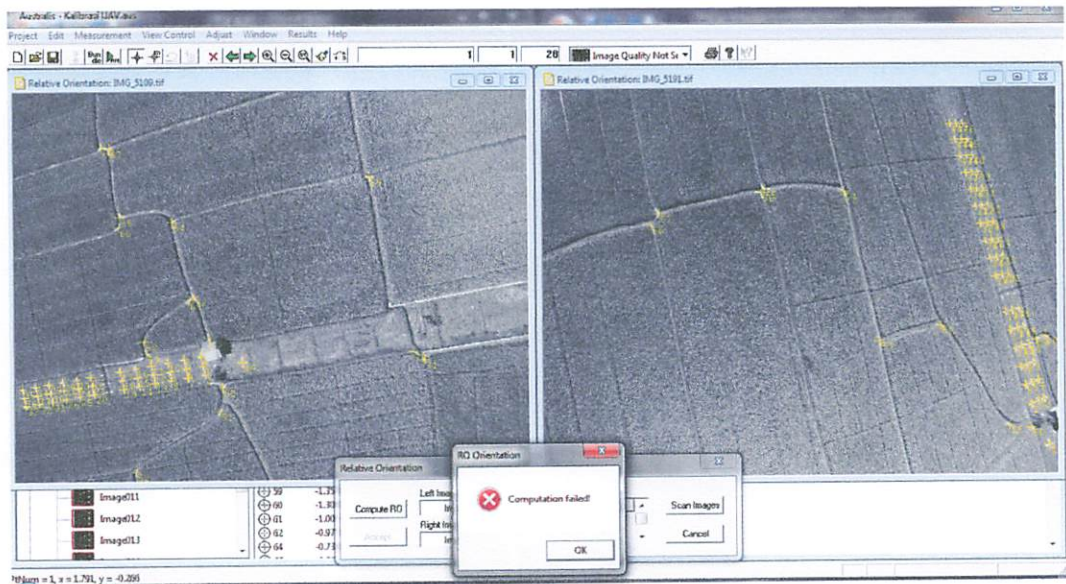
- j. Selanjutnya ialah melakukan proses Relative Orientation untuk mengorientasikan data foto lain terhadap data foto image001. Proses ini dapat dilakukan dengan cara *click Adjust* → *Relative Orientation* sehingga akan muncul jendela relative orientasi sebagai berikut :



Gambar 4.15 Proses Relative Orientation



Pada jendela *Relative Orientation* → set *Left Image* dengan *image001* yang telah diproses pada *point 9* → set *Right Image* dengan data foto yang memiliki basis pemotretan yang lebih besar terhadap *image001* → ekstraksi data koordinat foto untuk data foto *Right Image* dengan cara yang sama sesuai dengan *point 9* → *Compute RO* → apabila nilai *Measured Points* sudah sesuai maka *click Accept*.



Gambar 4.16 Proses Relative Orientation Failed

Pada saat melakukan proses Relative Orientation terjadi error yang mengakibatkan proses ekstraksi data foto lebih lanjut tidak bisa dilakukan, karena didalam *software australis* proses *centroid* hanya bisa dilakukan jika target berbentuk lingkaran dengan target berwarna hitam dengan latar putih atau juga

sebaliknya. Sehingga pada *software australis* bisa di *setting Image Shape* “*Circular*” untuk bisa melakukan proses *centroid*. Jadi ekstraksi data foto UAV untuk mendapatkan parameter pendekatan *Exterior Orientation* (EO), parameter *Object Space Point* (OSP) serta koordinat foto menggunakan *software australis* gagal dilakukan.

Dengan adanya kendala pada saat ekstraksi data foto pada proses *Relative Orientatioan*, maka dilakukan diskusi dan evaluasi dengan *Dr. Edwin Tjahjadi* dengan kesimpulan data tersebut memang tidak bisa untuk dilakukan ekstraksi data foto dikarenakan kelemahan dari *software australis* seperti yang telah diterangkan diatas. untuk itu diberikan solusi mengganti data dengan data pemotretan konvergen yang sudah ada. Karena pada prinsip *close range photogrammetry* desain pemotretan bisa diabaikan tidak seperti pemotretan foto udara yang lazim digunakan.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Parameter Awal

Dengan adanya kendala pada saat ekstraksi data foto pada proses *Relative Orientation*, maka dilakukan diskusi dan evaluasi dengan *Dr. Edwin Tjahjadi* dengan kesimpulan data tersebut memang tidak bisa untuk dilakukan ekstraksi data foto dikarenakan kelemahan dari *software australis* seperti yang telah diterangkan diatas. Untuk itu diberikan solusi mengganti data dengan data pemotretan konvergen yang sudah ada. Karena pada prinsip *close range photogrammetry* desain pemotretan bisa diabaikan tidak seperti pemotretan foto udara yang lazim digunakan. Dan berikut data parameter awal yang digunakan sebagai data pengganti pada penelitian ini, sebagai berikut :

##### 1. Parameter Kalibrasi Pendekatan

Tabel 4.1 Nilai Parameter Pendekatan Kalibrasi

Parameter Pendekatan Kalibrasi Kamera	
Parameter	Nilai Pendekatan
fokus	35.000
$x_0$	0.000
$y_0$	0.000
$K_1$	0.000
$K_2$	0.000
$K_3$	0.000
$P_1$	0.000
$P_2$	0.000
$b_1$	0.000
$b_2$	0.000



## 2. Parameter *Exterior Orientation* (EO) Pendekatan

Tabel 4.2 Nilai Parameter Pendekatan *Exterior Orientation*

Parameter Pendekatan <i>Exterior Orientation</i>						
Foto	$\omega$	$\phi$	$\kappa$	$X_L$	$Y_L$	$Z_L$
1	1.308683	0.083926	1.469698	111.9599	373.9012	362.676
2	1.292502	0.063237	3.052947	107.8999	374.2559	367.0321
3	1.561169	-0.00184	1.547011	1.8989	3.0477	-4.8367
4	1.590283	-0.00095	3.141511	-1.0589	0.7943	-1.354
5	1.570868	-0.00018	-0.00012	-0.2772	-0.0836	-0.1143
6	1.927388	0.14817	1.647238	151.443	566.7668	-378.222
7	2.231684	0.111654	1.684546	147.9682	640.9657	-753.903
8	2.278869	0.055123	-2.99037	77.3864	443.1879	-935.984
9	2.25928	0.052861	0.126231	77.89	437.2978	-941.429

## 3. Koordinat *Object Space Point* (OSP) Pendekatan

Tabel 4.3 Nilai Parameter Pendekatan Koordinat *Object Space Point*

Parameter Koordinat Pendekatan <i>Object Space Point</i>			
Point	X	Y	Z
1	-78.676	1750.929	-196.865
2	-84.6681	1724.214	-162.295
3	-89.0556	1684.24	-111.731
4	-98.7175	1645.126	-61.5787
5	-105.541	1608.932	-15.3447
6	-114.32	1566.369	38.9353
7	-121.154	1532.382	82.5535
8	-129.858	1492.607	133.2308
9	-138.126	1456.747	179.1248
10	-144.613	1420.895	225.3339
11	-91.5381	1405.908	223.5464
12	-81.3612	1440.984	178.9477
13	-61.4767	1474.053	132.6454
14	-42.224	1514.701	77.597

Parameter Koordinat Pendekatan <i>Object Space Point</i>			
Point	X	Y	Z
15	-31.6517	1548.568	34.0497
16	-16.1783	1593.677	-26.0675
17	-12.1672	1627.176	-69.401
18	-21.9359	1669.839	-117.109
19	-23.7461	1707.669	-162.344
20	-21.6988	1735.822	-197.783
21	11.6923	1728.334	-200.947
22	17.4003	1698.647	-166.228
23	18.0344	1659.808	-120.501
24	25.147	1617.205	-72.6336
25	17.5312	1586.492	-30.2741
26	-0.2768	1539.954	32.372
27	-7.9865	1505.127	75.0094
28	-25.5481	1461.619	133.2485
29	-38.463	1428.773	177.3786
30	-45.1881	1395.894	218.2859
31	-0.1028	1386.648	213.0766
32	5.6067	1416.887	175.353
33	13.4104	1449.126	133.4596
34	26.3395	1496.186	73.2374
35	35.1552	1530.565	29.9882
36	46.4508	1581.505	-35.3734
37	56.0673	1608.877	-73.7171
38	54.4606	1650.465	-122.304
39	58.0446	1689.349	-170.058
40	55.3473	1716.336	-203.151
41	93.9332	1639.417	-123.658
42	94.5202	1598.94	-76.1291
43	88.2212	1570.696	-39.4385
44	82.1153	1517.06	26.6061
45	73.7428	1482.688	70.4117
46	54.2089	1443.095	125.0793
47	-64.2183	1657.023	-85.735
48	-60.6374	1601.494	-19.6912
49	-71.3676	1581.8	7.5458
50	-86.3464	1549.217	52.3031

4. Koordinat Foto dan Ketelitian Koordinat Foto

Tabel 4.4 Nilai Koordinat Foto 1

Koordinat Foto 1				
Point	x	y	sx	sy
1	-4.23068	1.052707	0.001	0.001
2	-3.72867	1.353046	0.001	0.001
3	-2.94767	1.713569	0.001	0.001
4	-2.12381	2.231383	0.001	0.001
5	-1.30343	2.689531	0.001	0.001
6	-0.26539	3.292322	0.001	0.001
7	0.638499	3.807398	0.001	0.001
8	1.769457	4.478759	0.001	0.001
9	2.88198	5.150888	0.001	0.001
10	4.106034	5.825964	0.001	0.001
11	4.163306	4.212332	0.001	0.001
12	2.973965	3.490174	0.001	0.001
13	1.844274	2.532914	0.001	0.001
14	0.60279	1.608134	0.001	0.001
15	-0.30525	1.056395	0.001	0.001
16	-1.47075	0.33551	0.001	0.001
17	-2.25608	0.037516	0.001	0.001
18	-3.04524	0.076477	0.001	0.001
19	-3.74656	-0.0647	0.001	0.001
20	-4.2688	-0.24743	0.001	0.001
21	-4.33659	-1.03273	0.001	0.001
22	-3.82523	-1.0574	0.001	0.001
23	-3.1225	-0.9186	0.001	0.001
24	-2.33118	-0.92915	0.001	0.001
25	-1.55068	-0.57001	0.001	0.001
26	-0.33082	0.190001	0.001	0.001
27	0.56009	0.630134	0.001	0.001
28	1.894485	1.490291	0.001	0.001
29	2.998512	2.187705	0.001	0.001
30	4.107787	2.724063	0.001	0.001
31	4.05275	1.239957	0.001	0.001
32	3.015441	0.808712	0.001	0.001
33	1.942859	0.322144	0.001	0.001

Koordinat Foto 1				
Point	x	y	sx	sy
34	0.544702	-0.3679	0.001	0.001
35	-0.37078	-0.80903	0.001	0.001
36	-1.64875	-1.36188	0.001	0.001
37	-2.35494	-1.73894	0.001	0.001
38	-3.16422	-1.8369	0.001	0.001
39	-3.90794	-2.05308	0.001	0.001
40	-4.40468	-2.07065	0.001	0.001
41	-3.20517	-2.85005	0.001	0.001
42	-2.40721	-2.76636	0.001	0.001
43	-1.73868	-2.51116	0.001	0.001
44	-0.43968	-2.16251	0.001	0.001
45	0.503186	-1.77862	0.001	0.001
46	1.779355	-0.97315	0.001	0.001
47	-2.51743	1.251872	0.001	0.001
48	-1.35822	1.518868	0.001	0.001
49	-0.84935	1.956748	0.001	0.001
50	0.038212	2.642879	0.001	0.001

Tabel 4.5 Nilai Koordinat Foto 2

Koordinat Foto 2				
Point	x	y	sx	sy
1	1.98746	3.935817	0.001	0.001
2	2.279261	3.434817	0.001	0.001
3	2.628686	2.656123	0.001	0.001
4	3.134432	1.831061	0.001	0.001
5	3.580709	1.009712	0.001	0.001
6	4.171202	-0.03084	0.001	0.001
7	4.674746	-0.93817	0.001	0.001
8	5.333856	-2.07565	0.001	0.001
9	5.994825	-3.19676	0.001	0.001
10	6.658386	-4.43196	0.001	0.001
11	5.027324	-4.46453	0.001	0.001
12	4.31767	-3.26485	0.001	0.001
13	3.373796	-2.12451	0.001	0.001
14	2.464707	-0.8746	0.001	0.001

Koordinat Foto 2				
Point	x	y	sx	sy
15	1.926216	0.035357	0.001	0.001
16	1.223494	1.202115	0.001	0.001
17	0.93787	1.986177	0.001	0.001
18	0.99003	2.769352	0.001	0.001
19	0.861476	3.465241	0.001	0.001
20	0.687113	3.986353	0.001	0.001
21	-0.0966	4.060134	0.001	0.001
22	-0.12932	3.553652	0.001	0.001
23	-0.00328	2.855277	0.001	0.001
24	-0.02702	2.070696	0.001	0.001
25	0.318108	1.292838	0.001	0.001
26	1.057979	0.070972	0.001	0.001
27	1.484015	-0.81975	0.001	0.001
28	2.324232	-2.16005	0.001	0.001
29	3.007563	-3.27107	0.001	0.001
30	3.528393	-4.38738	0.001	0.001
31	2.036652	-4.30989	0.001	0.001
32	1.621233	-3.26801	0.001	0.001
33	1.151568	-2.19292	0.001	0.001
34	0.483776	-0.79217	0.001	0.001
35	0.059251	0.12305	0.001	0.001
36	-0.47164	1.399149	0.001	0.001
37	-0.83626	2.102773	0.001	0.001
38	-0.92005	2.90681	0.001	0.001
39	-1.1222	3.64547	0.001	0.001
40	-1.13072	4.136776	0.001	0.001
41	-1.92912	2.957276	0.001	0.001
42	-1.86005	2.166091	0.001	0.001
43	-1.61722	1.500366	0.001	0.001
44	-1.29336	0.207959	0.001	0.001
45	-0.92619	-0.73327	0.001	0.001
46	-0.14384	-2.01261	0.001	0.001
47	2.158878	2.232637	0.001	0.001
48	2.407196	1.077722	0.001	0.001
49	2.837866	0.565933	0.001	0.001
50	3.513311	-0.32564	0.001	0.001



Tabel 4.6 Nilai Koordinat Foto 3

Koordinat Foto 3				
Point	x	y	sx	sy
1	-3.32522	1.521838	0.001	0.001
2	-2.69468	1.682057	0.001	0.001
3	-1.73445	1.836384	0.001	0.001
4	-0.73653	2.10956	0.001	0.001
5	0.22702	2.327132	0.001	0.001
6	1.415185	2.61298	0.001	0.001
7	2.419027	2.849782	0.001	0.001
8	3.643036	3.156414	0.001	0.001
9	4.808921	3.457597	0.001	0.001
10	6.04357	3.73089	0.001	0.001
11	6.089484	2.459739	0.001	0.001
12	4.884607	2.128758	0.001	0.001
13	3.706511	1.587344	0.001	0.001
14	2.370273	1.074252	0.001	0.001
15	1.360163	0.79078	0.001	0.001
16	0.036505	0.402071	0.001	0.001
17	-0.87385	0.286723	0.001	0.001
18	-1.83234	0.4585	0.001	0.001
19	-2.69733	0.463914	0.001	0.001
20	-3.34994	0.399289	0.001	0.001
21	-3.41484	-0.26912	0.001	0.001
22	-2.77357	-0.37375	0.001	0.001
23	-1.89739	-0.37359	0.001	0.001
24	-0.9325	-0.51221	0.001	0.001
25	-0.04013	-0.33441	0.001	0.001
26	1.343218	0.08868	0.001	0.001
27	2.340839	0.291163	0.001	0.001
28	3.768367	0.748903	0.001	0.001
29	4.907475	1.10505	0.001	0.001
30	6.026144	1.322619	0.001	0.001
31	5.958942	0.199922	0.001	0.001
32	4.920803	0.034215	0.001	0.001
33	3.822922	-0.17672	0.001	0.001
34	2.329656	-0.5036	0.001	0.001
35	1.313584	-0.71418	0.001	0.001

Koordinat Foto 3				
Point	x	y	sx	sy
36	-0.13856	-0.97126	0.001	0.001
37	-0.94772	-1.18069	0.001	0.001
38	-1.93079	-1.1406	0.001	0.001
39	-2.85015	-1.20995	0.001	0.001
40	-3.46532	-1.15166	0.001	0.001
41	-1.95586	-1.98238	0.001	0.001
42	-0.99034	-2.02165	0.001	0.001
43	-0.21074	-1.90126	0.001	0.001
44	1.2688	-1.79508	0.001	0.001
45	2.305909	-1.61797	0.001	0.001
46	3.658728	-1.16219	0.001	0.001
47	-1.21532	1.360803	0.001	0.001
48	0.154356	1.364631	0.001	0.001
49	0.740402	1.63069	0.001	0.001
50	1.739032	2.023938	0.001	0.001

Tabel 4.7 Nilai Koordinat Foto 4

Koordinat Foto 4				
Point	x	y	sx	sy
1	1.746607	4.494319	0.001	0.001
2	1.890417	3.85815	0.001	0.001
3	2.01944	2.892819	0.001	0.001
4	2.265324	1.890062	0.001	0.001
5	2.456497	0.923452	0.001	0.001
6	2.710197	-0.26709	0.001	0.001
7	2.917747	-1.27026	0.001	0.001
8	3.189458	-2.49243	0.001	0.001
9	3.456424	-3.65409	0.001	0.001
10	3.69356	-4.88103	0.001	0.001
11	2.427742	-4.89562	0.001	0.001
12	2.132064	-3.69698	0.001	0.001
13	1.624614	-2.51791	0.001	0.001
14	1.14811	-1.17957	0.001	0.001
15	0.892294	-0.16834	0.001	0.001
16	0.537316	1.159142	0.001	0.001

Koordinat Foto 4				
Point	x	y	sx	sy
17	0.445429	2.070589	0.001	0.001
18	0.642214	3.024175	0.001	0.001
19	0.669785	3.890194	0.001	0.001
20	0.621709	4.545692	0.001	0.001
21	-0.04644	4.626432	0.001	0.001
22	-0.16739	3.986547	0.001	0.001
23	-0.18951	3.109401	0.001	0.001
24	-0.35258	2.148889	0.001	0.001
25	-0.19665	1.253392	0.001	0.001
26	0.191046	-0.13559	0.001	0.001
27	0.367149	-1.13159	0.001	0.001
28	0.787223	-2.55898	0.001	0.001
29	1.1118	-3.69565	0.001	0.001
30	1.298393	-4.80573	0.001	0.001
31	0.184278	-4.71247	0.001	0.001
32	0.046081	-3.68281	0.001	0.001
33	-0.13696	-2.59162	0.001	0.001
34	-0.42494	-1.10128	0.001	0.001
35	-0.60947	-0.08601	0.001	0.001
36	-0.83173	1.367305	0.001	0.001
37	-1.02126	2.180136	0.001	0.001
38	-0.95665	3.161591	0.001	0.001
39	-1.00388	4.083937	0.001	0.001
40	-0.93013	4.699155	0.001	0.001
41	-1.79888	3.206734	0.001	0.001
42	-1.86192	2.241853	0.001	0.001
43	-1.75928	1.461948	0.001	0.001
44	-1.6879	-0.01528	0.001	0.001
45	-1.53618	-1.05157	0.001	0.001
46	-1.11485	-2.40419	0.001	0.001
47	1.529602	2.386621	0.001	0.001
48	1.496365	1.018992	0.001	0.001
49	1.747235	0.427947	0.001	0.001
50	2.112625	-0.57508	0.001	0.001

Tabel 4.8 Nilai Koordinat Foto 5

Koordinat Foto 5				
Point	x	y	sx	sy
1	-1.37925	-3.93885	0.001	0.001
2	-1.52328	-3.30529	0.001	0.001
3	-1.65356	-2.34538	0.001	0.001
4	-1.89977	-1.34573	0.001	0.001
5	-2.09292	-0.38147	0.001	0.001
6	-2.34794	0.807482	0.001	0.001
7	-2.55784	1.810884	0.001	0.001
8	-2.8314	3.033507	0.001	0.001
9	-3.10129	4.198457	0.001	0.001
10	-3.341	5.429081	0.001	0.001
11	-2.07335	5.444073	0.001	0.001
12	-1.77537	4.241081	0.001	0.001
13	-1.26591	3.059477	0.001	0.001
14	-0.78779	1.719628	0.001	0.001
15	-0.53111	0.708772	0.001	0.001
16	-0.17546	-0.61681	0.001	0.001
17	-0.08306	-1.52604	0.001	0.001
18	-0.27899	-2.47646	0.001	0.001
19	-0.30595	-3.33798	0.001	0.001
20	-0.2576	-3.99071	0.001	0.001
21	0.408465	-4.07092	0.001	0.001
22	0.529323	-3.4348	0.001	0.001
23	0.550857	-2.56147	0.001	0.001
24	0.713148	-1.60428	0.001	0.001
25	0.557662	-0.71091	0.001	0.001
26	0.169446	0.675302	0.001	0.001
27	-0.00714	1.671674	0.001	0.001
28	-0.42784	3.099992	0.001	0.001
29	-0.75389	4.23963	0.001	0.001
30	-0.94178	5.353941	0.001	0.001
31	0.174115	5.260566	0.001	0.001
32	0.313386	4.226675	0.001	0.001
33	0.496908	3.13282	0.001	0.001
34	0.785439	1.641245	0.001	0.001
35	0.970025	0.626328	0.001	0.001

Koordinat Foto 5				
Point	x	y	sx	sy
36	1.191334	-0.8243	0.001	0.001
37	1.38059	-1.63541	0.001	0.001
38	1.315924	-2.61303	0.001	0.001
39	1.363289	-3.5316	0.001	0.001
40	1.289616	-4.14315	0.001	0.001
41	2.156679	-2.65873	0.001	0.001
42	2.219904	-1.69725	0.001	0.001
43	2.118056	-0.91899	0.001	0.001
44	2.04774	0.555138	0.001	0.001
45	1.896755	1.590802	0.001	0.001
46	1.47612	2.944924	0.001	0.001
47	-1.16501	-1.84068	0.001	0.001
48	-1.13369	-0.47686	0.001	0.001
49	-1.38469	0.113416	0.001	0.001
50	-1.75174	1.115796	0.001	0.001

Tabel 4.9 Nilai Koordinat Foto 6

Koordinat Foto 6				
Point	x	y	sx	sy
1	-6.73	2.056562	0.001	0.001
2	-5.5661	2.213834	0.001	0.001
3	-3.82573	2.327135	0.001	0.001
4	-2.03392	2.596071	0.001	0.001
5	-0.33506	2.790721	0.001	0.001
6	1.726039	3.049317	0.001	0.001
7	3.431369	3.25598	0.001	0.001
8	5.479978	3.529341	0.001	0.001
9	7.393181	3.794618	0.001	0.001
10	9.369825	4.009348	0.001	0.001
11	9.561419	2.391401	0.001	0.001
12	7.592518	2.073975	0.001	0.001
13	5.650021	1.470963	0.001	0.001
14	3.384723	0.90446	0.001	0.001
15	1.628089	0.608731	0.001	0.001
16	-0.70458	0.191023	0.001	0.001



Koordinat Foto 6				
Point	x	y	sx	sy
17	-2.3276	0.114937	0.001	0.001
18	-4.06351	0.437889	0.001	0.001
19	-5.64892	0.523018	0.001	0.001
20	-6.85656	0.492676	0.001	0.001
21	-7.01862	-0.4475	0.001	0.001
22	-5.83571	-0.65256	0.001	0.001
23	-4.20537	-0.72273	0.001	0.001
24	-2.43432	-0.9944	0.001	0.001
25	-0.83944	-0.82319	0.001	0.001
26	1.618426	-0.34883	0.001	0.001
27	3.37841	-0.14798	0.001	0.001
28	5.813994	0.352696	0.001	0.001
29	7.71715	0.728906	0.001	0.001
30	9.563247	0.921545	0.001	0.001
31	9.552712	-0.56082	0.001	0.001
32	7.819779	-0.70383	0.001	0.001
33	5.969374	-0.90256	0.001	0.001
34	3.386852	-1.23859	0.001	0.001
35	1.58822	-1.45831	0.001	0.001
36	-1.01509	-1.71074	0.001	0.001
37	-2.47599	-1.94294	0.001	0.001
38	-4.29739	-1.81384	0.001	0.001
39	-6.02244	-1.84502	0.001	0.001
40	-7.16616	-1.71022	0.001	0.001
41	-4.37407	-3.03005	0.001	0.001
42	-2.56693	-3.1519	0.001	0.001
43	-1.13527	-3.02974	0.001	0.001
44	1.553874	-2.97462	0.001	0.001
45	3.404314	-2.7913	0.001	0.001
46	5.751875	-2.24617	0.001	0.001
47	-2.92633	1.622878	0.001	0.001
48	-0.49027	1.497159	0.001	0.001
49	0.543514	1.801777	0.001	0.001
50	2.268573	2.230061	0.001	0.001

Tabel 4.10 Nilai Koordinat Foto 7

Koordinat Foto 7				
Point	x	y	sx	sy
1	-6.2524	3.200377	0.001	0.001
2	-5.01681	3.225019	0.001	0.001
3	-3.21351	3.144174	0.001	0.001
4	-1.41507	3.206729	0.001	0.001
5	0.236694	3.208428	0.001	0.001
6	2.177318	3.230198	0.001	0.001
7	3.729981	3.242126	0.001	0.001
8	5.540039	3.276498	0.001	0.001
9	7.175062	3.318009	0.001	0.001
10	8.806029	3.307606	0.001	0.001
11	8.992361	1.894308	0.001	0.001
12	7.372758	1.79315	0.001	0.001
13	5.733336	1.433771	0.001	0.001
14	3.754074	1.12358	0.001	0.001
15	2.160928	1.005864	0.001	0.001
16	-0.01876	0.819561	0.001	0.001
17	-1.58745	0.885074	0.001	0.001
18	-3.35614	1.347776	0.001	0.001
19	-5.00706	1.578897	0.001	0.001
20	-6.28954	1.665259	0.001	0.001
21	-6.39701	0.754647	0.001	0.001
22	-5.1272	0.453213	0.001	0.001
23	-3.42541	0.24817	0.001	0.001
24	-1.6246	-0.15005	0.001	0.001
25	-0.09615	-0.10981	0.001	0.001
26	2.193581	0.136088	0.001	0.001
27	3.794424	0.179507	0.001	0.001
28	5.914947	0.435051	0.001	0.001
29	7.506764	0.617191	0.001	0.001
30	9.022418	0.638428	0.001	0.001
31	9.038305	-0.61496	0.001	0.001
32	7.62614	-0.62141	0.001	0.001
33	6.082615	-0.67029	0.001	0.001
34	3.83885	-0.79023	0.001	0.001
35	2.214464	-0.86403	0.001	0.001

Koordinat Foto 7				
Point	x	y	sx	sy
36	-0.2187	-0.91552	0.001	0.001
37	-1.61637	-1.03267	0.001	0.001
38	-3.45516	-0.78262	0.001	0.001
39	-5.24276	-0.68567	0.001	0.001
40	-6.46051	-0.47015	0.001	0.001
41	-3.45855	-1.92695	0.001	0.001
42	-1.63843	-2.14868	0.001	0.001
43	-0.25906	-2.11941	0.001	0.001
44	2.25846	-2.22289	0.001	0.001
45	3.917823	-2.16258	0.001	0.001
46	5.93819	-1.82043	0.001	0.001
47	-2.27262	2.373842	0.001	0.001
48	0.128755	2.015914	0.001	0.001
49	1.103459	2.199436	0.001	0.001
50	2.692738	2.426237	0.001	0.001

Tabel 4.11 Nilai Koordinat Foto 8

Koordinat Foto 8				
Point	x	y	sx	sy
1	2.91651	6.357746	0.001	0.001
2	2.893386	5.321073	0.001	0.001
3	2.760597	3.815336	0.001	0.001
4	2.749968	2.315757	0.001	0.001
5	2.693217	0.944326	0.001	0.001
6	2.643139	-0.66271	0.001	0.001
7	2.598625	-1.94501	0.001	0.001
8	2.56414	-3.43494	0.001	0.001
9	2.541442	-4.77716	0.001	0.001
10	2.477143	-6.11346	0.001	0.001
11	1.27358	-6.18612	0.001	0.001
12	1.244578	-4.86266	0.001	0.001
13	0.99743	-3.50769	0.001	0.001
14	0.803327	-1.87638	0.001	0.001
15	0.758604	-0.56585	0.001	0.001
16	0.673685	1.2316	0.001	0.001

Koordinat Foto 8				
Point	x	y	sx	sy
17	0.779562	2.523559	0.001	0.001
18	1.231532	3.975402	0.001	0.001
19	1.484325	5.343158	0.001	0.001
20	1.601215	6.410905	0.001	0.001
21	0.82895	6.513039	0.001	0.001
22	0.531431	5.462769	0.001	0.001
23	0.301485	4.056533	0.001	0.001
24	-0.09372	2.581114	0.001	0.001
25	-0.10657	1.324575	0.001	0.001
26	0.025244	-0.56047	0.001	0.001
27	0.007381	-1.86947	0.001	0.001
28	0.15196	-3.60663	0.001	0.001
29	0.251743	-4.90978	0.001	0.001
30	0.219291	-6.13978	0.001	0.001
31	-0.82359	-6.08291	0.001	0.001
32	-0.78408	-4.9425	0.001	0.001
33	-0.77614	-3.6921	0.001	0.001
34	-0.80388	-1.8657	0.001	0.001
35	-0.81174	-0.53989	0.001	0.001
36	-0.77752	1.450111	0.001	0.001
37	-0.83314	2.598389	0.001	0.001
38	-0.5644	4.103883	0.001	0.001
39	-0.4255	5.577791	0.001	0.001
40	-0.20649	6.581945	0.001	0.001
41	-1.51945	4.131598	0.001	0.001
42	-1.76091	2.645979	0.001	0.001
43	-1.77909	1.51868	0.001	0.001
44	-1.94207	-0.52527	0.001	0.001
45	-1.94407	-1.87281	0.001	0.001
46	-1.72372	-3.52054	0.001	0.001
47	2.069816	3.051223	0.001	0.001
48	1.682358	1.072231	0.001	0.001
49	1.804648	0.261504	0.001	0.001
50	1.943242	-1.05761	0.001	0.001



Tabel 4.12 Nilai Koordinat Foto 9

Koordinat Foto 9				
Point	x	y	sx	sy
1	-2.36754	-5.78649	0.001	0.001
2	-2.37335	-4.76172	0.001	0.001
3	-2.2822	-3.26809	0.001	0.001
4	-2.31269	-1.78091	0.001	0.001
5	-2.29397	-0.41816	0.001	0.001
6	-2.28766	1.181511	0.001	0.001
7	-2.27848	2.459567	0.001	0.001
8	-2.28414	3.946323	0.001	0.001
9	-2.29851	5.286904	0.001	0.001
10	-2.27091	6.62519	0.001	0.001
11	-1.0723	6.72898	0.001	0.001
12	-1.00791	5.406387	0.001	0.001
13	-0.72542	4.059864	0.001	0.001
14	-0.4894	2.437791	0.001	0.001
15	-0.41044	1.133782	0.001	0.001
16	-0.2792	-0.65125	0.001	0.001
17	-0.35065	-1.93644	0.001	0.001
18	-0.7607	-3.38679	0.001	0.001
19	-0.97497	-4.74731	0.001	0.001
20	-1.06227	-5.80541	0.001	0.001
21	-0.29455	-5.88621	0.001	0.001
22	-0.02708	-4.84064	0.001	0.001
23	0.164656	-3.44357	0.001	0.001
24	0.518328	-1.9707	0.001	0.001
25	0.498984	-0.72318	0.001	0.001
26	0.318844	1.14728	0.001	0.001
27	0.302921	2.451469	0.001	0.001
28	0.114312	4.180125	0.001	0.001
29	-0.01946	5.479294	0.001	0.001
30	-0.01916	6.709951	0.001	0.001
31	1.023366	6.680341	0.001	0.001
32	1.012059	5.538783	0.001	0.001
33	1.036456	4.28957	0.001	0.001
34	1.110394	2.468563	0.001	0.001
35	1.152182	1.148522	0.001	0.001



Koordinat Foto 9				
Point	x	y	sx	sy
36	1.168983	-0.83052	0.001	0.001
37	1.252788	-1.96874	0.001	0.001
38	1.024689	-3.46787	0.001	0.001
39	0.924082	-4.92975	0.001	0.001
40	0.732639	-5.92727	0.001	0.001
41	1.972779	-3.47043	0.001	0.001
42	2.175619	-1.99196	0.001	0.001
43	2.165233	-0.87289	0.001	0.001
44	2.277102	1.163305	0.001	0.001
45	2.245431	2.504917	0.001	0.001
46	1.985072	4.142972	0.001	0.001
47	-1.61742	-2.49298	0.001	0.001
48	-1.28578	-0.51896	0.001	0.001
49	-1.42896	0.28381	0.001	0.001
50	-1.60227	1.592431	0.001	0.001

## 4.2 Hasil Penelitian

Karena adanya kendala pada saat proses ekstraksi data foto UAV menggunakan *software australis* maka digunakan data hasil pemotretan konvergen seperti data diatas yang menghasilkan parameter *Exterior Orientation* (EO) yaitu  $(X_L, Y_L, Z_L, \omega, \phi, \kappa)$  dan parameter *Object Space Point* yaitu  $(X_A, Y_A, Z_A)$ . Selain parameter-parameter tersebut dihasilkan pula suatu fungsi matematika yang ditulis dalam sebuah bahasa pemrograman *Matlab* untuk dapat dipergunakan secara fleksibel dengan berbagai kondisi data. Keseluruhan data yang dihasilkan, akan ditampilkan pada tiap sub-bab dibawah ini

#### 4.2.1 Aplikasi dan Listing Kode Pemrograman

Dari setiap tahapan proses penelitian dan perhitungan yang dijelaskan pada bab-3, dapat diaplikasikan dalam sebuah bahasa pemrograman. Adapun perangkat lunak yang digunakan dalam pembuatan aplikasi *windows-form* sederhana ini ialah *Matlab R2008b*. Untuk memudahkan dalam proses pembangunan aplikasi perhitungan, maka setiap tahapan dibagi dalam beberapa fungsi. Beberapa contoh fungsi tersebut disajikan dalam bentuk tabel seperti yang terlihat dibawah ini.

Tabel 4.13 Nama Fungsi, Input Data dan Output Data

No	Nama Fungsi	Inputan Data/Keterangan	Output Data
1	caliber.fig	Desain <i>windows-form</i> aplikasi perhitungan	-
2	caliber.m	Fungsi utama dari aplikasi perhitungan untuk menghubungkan tiap fungsi yang ada	-
3	collinier_resection.m	Fungsi ini digunakan untuk menghitung nilai penyusun matrik koefisien parameter EO	<i>Matriks koefisien berdimensi 2 x 6</i>
4	collinier_intersection.m	Fungsi ini digunakan untuk menghitung nilai penyusun matrik koefisien parameter koordinat 3D	<i>Matriks koefisien berdimensi 2 x 3</i>
5	Collinier_observation.m	Fungsi ini digunakan untuk menghitung nilai penyusun parameter matriks observasi	Matriks L berdimensi 2 x 1
6	observation_matriks.m	Fungsi ini digunakan untuk menghitung nilai parameter matriks observasi	Matriks L berdimensi 2mn
7	rotationmatriks.m	Fungsi ini digunakan untuk menghitung nilai parameter matriks rotasi	Matriks rotasi berdimensi 3 x3

8	weight_matriks.m	Fungsi ini digunakan untuk menyusun sebuah matriks bobot	Matriks bobot berdimensi $n \times n$ titik
9	helmert_transform.m	Fungsi ini digunakan untuk menyusun matriks <i>transformasi helmert</i>	Matriks G berdimensi $7n \times 3$
10	linier_space_resect.m	Fungsi ini digunakan untuk menyusun matrik koefisien parameter EO	Matriks $A_1$ berdimensi $2mn \times 6m$
11	linier_space_intersection.m	Fungsi ini digunakan untuk menyusun matrik koefisien parameter koordinat 3D	<i>Matriks <math>A_2</math> berdimensi <math>2mn \times 3n</math></i>
12	Linier_additional_param.m	Fungsi ini digunakan untuk menyusun matrik koefisien parameter kalibrasi kamera	Matriks $A_3$
13	Matrik_Normal_SCBA.m	Fungsi ini digunakan untuk menyusun matriks normal dan matriks observasi	Matriks $N$ dan Matriks $t$
14	scba_correction.m	Fungsi ini digunakan untuk menghitung nilai koreksi parameter IO, EO dan OSP	Nilai koreksi parameter IO, EO dan OSP
15	Self_calibration.m	Fungsi ini digunakan untuk menghitung nilai parameter IO, EO dan OSP.	Parameter IO, EO dan OSP terkoreksi

Keseluruhan fungsi yang telah dibuat dapat dilihat pula pada lampiran.

Adapun isi masing-masing fungsi tersebut merupakan suatu kode logika dalam sebuah bahasa pemrograman. Sebagai contoh, dibawah ini akan ditampilkan sebuah kode dari salah satu fungsi *Matrik\_Normal\_SCBA.m*.

```
function [N,C] = Matrik_Normal_SCBA(int,eks,p2,p3)
nphoto = size(eks,1);

A1 = linier_space_resect(int,eks,p2,p3);
A2 = linier_space_intersection(int,eks,p2,p3);
A3 = linier_additional_param(int,eks,p2,p3);
L = observation_matriks(int,eks,p2,p3);
G = helmert_transform(p3);
P = weight_matriks(eks,p2,p3);
```

```

N11 = A1'*P*A1;
N12 = A1'*P*A3;
N13 = A1'*P*A2;
N21 = A3'*P*A1;
N22 = A3'*P*A3;
N23 = A3'*P*A2;
N31 = A2'*P*A1;
N32 = A2'*P*A3;
N33 = A2'*P*A2;

```

```

L1 = A1'*P*L;
L2 = A3'*P*L;
L3 = A2'*P*L;

```

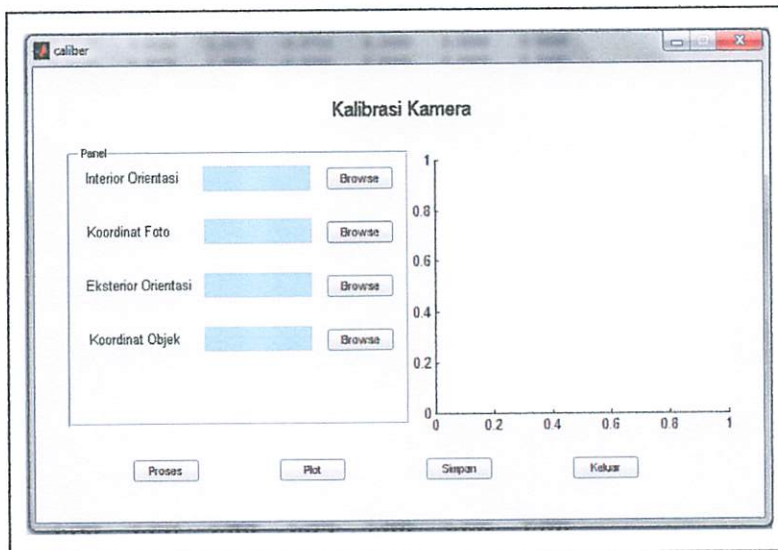
```

N = [N11,N12,N13,zeros(6*nphoto,7);
     N21,N22,N23,zeros(10,7);
     N31,N32,N33,G;
     zeros(7,6*nphoto),zeros(7,10),G',zeros(7,7)];
C = [L1;L2;L3;zeros(7,1)];

```

End

Dari keseluruhan fungsi tersebut disatukan dalam sebuah bahasa utama (*Main fuction*) yang menjadi penggerak utama aplikasi atau program yang dibuat. Adapun contoh tampilan dari aplikasi Program *Self Calibrating Bundle Adjustment* dapat dilihat pada gambar (4.1) dibawah ini.



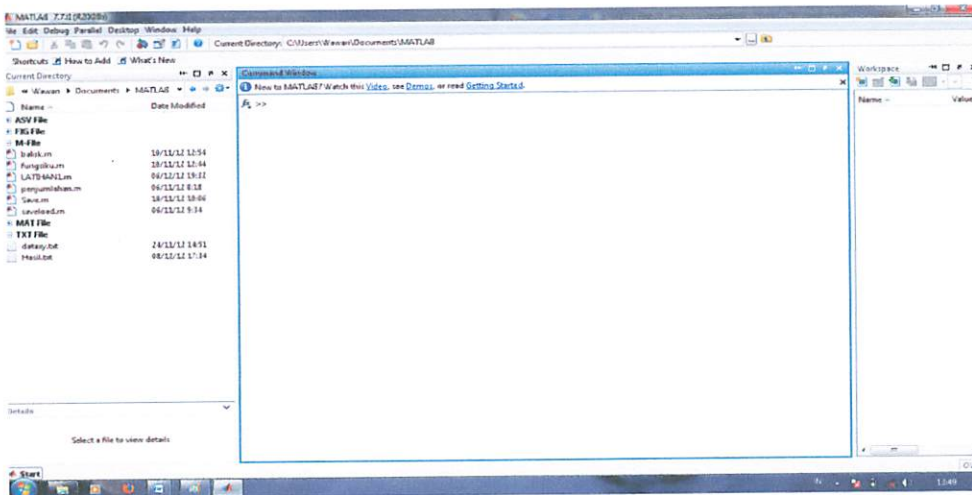
Gambar 4.1 Tampilan aplikasi Program *Self Calibrating Bundle Adjustment*



## 4.2.2 *Prosedur Pengoperasian Program Matlab Self Calibrating Bundle Adjustment*

Sesuai dengan listing kode pemrograman yang telah dibuat dan disusun menjadi sebuah program, maka untuk pengoperasian program *matlab* untuk *Self Calibrating Bundle Adjustment* tersebut melalui tahapan sebagai berikut :

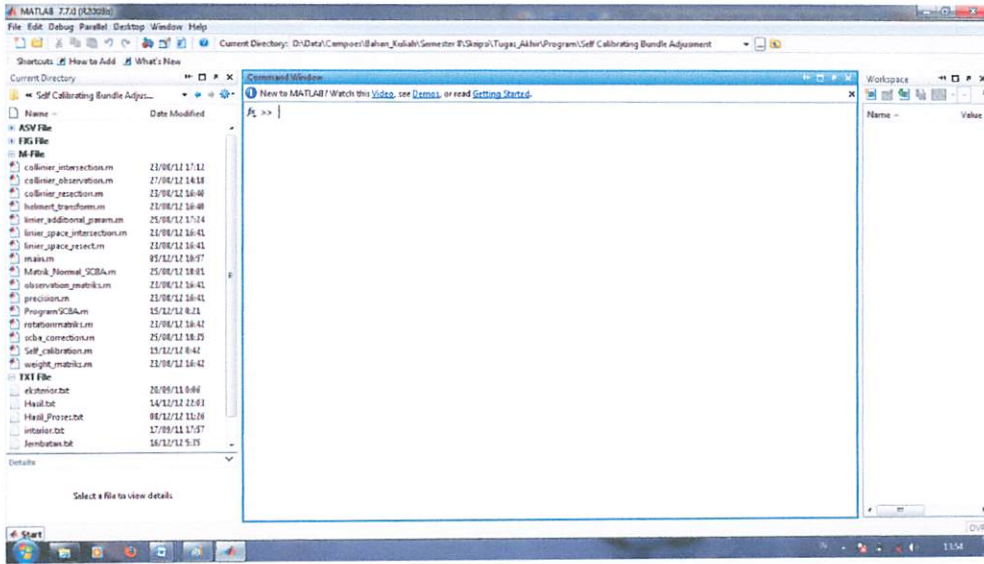
1. Buka aplikasi *Matlab R2008b* dengan melakukan *double-click* pada *icon Matlab R2008b* yang berada pada *desktop*. Sehingga, akan muncul tampilan awal dari aplikasi *Matlab R2008b* sebagai berikut :



Gambar 4.2 Tampilan Awal Matlab R2008b

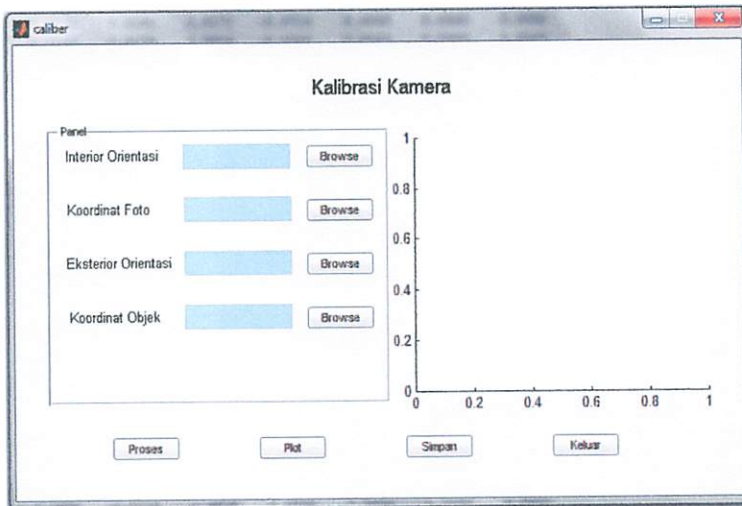
2. Arahkan *cruser* pada *Current Directory* pilih folder tempat file program “*self calibrating bundle adjustment*” disimpan maka akan muncul tampilan sebagai berikut :





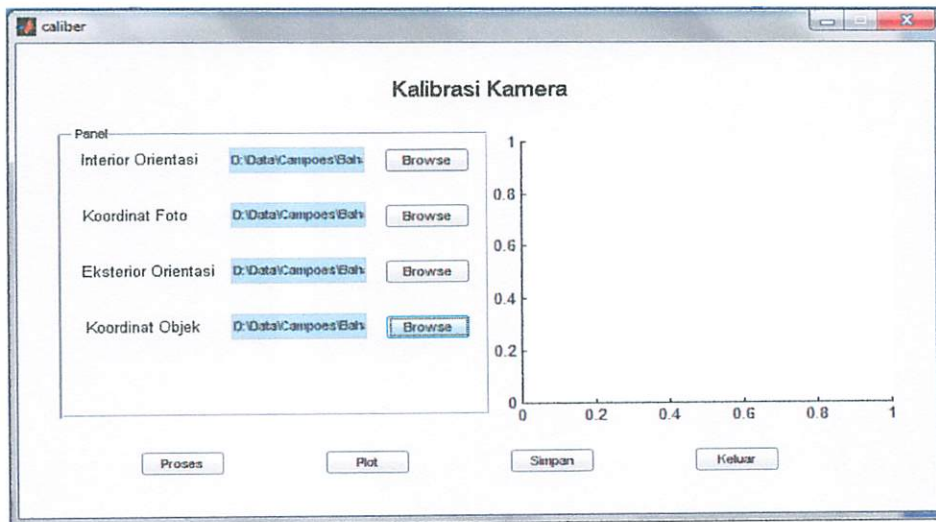
Gambar 4.3 Tampilan Matlab R2008b

3. Pada Command Window ketik nama program “ProgramSCBA” selanjutnya tekan enter, maka akan muncul tampilan awal dari program “Self Calibrating Bundle Adjustment” yang telah dibuat.



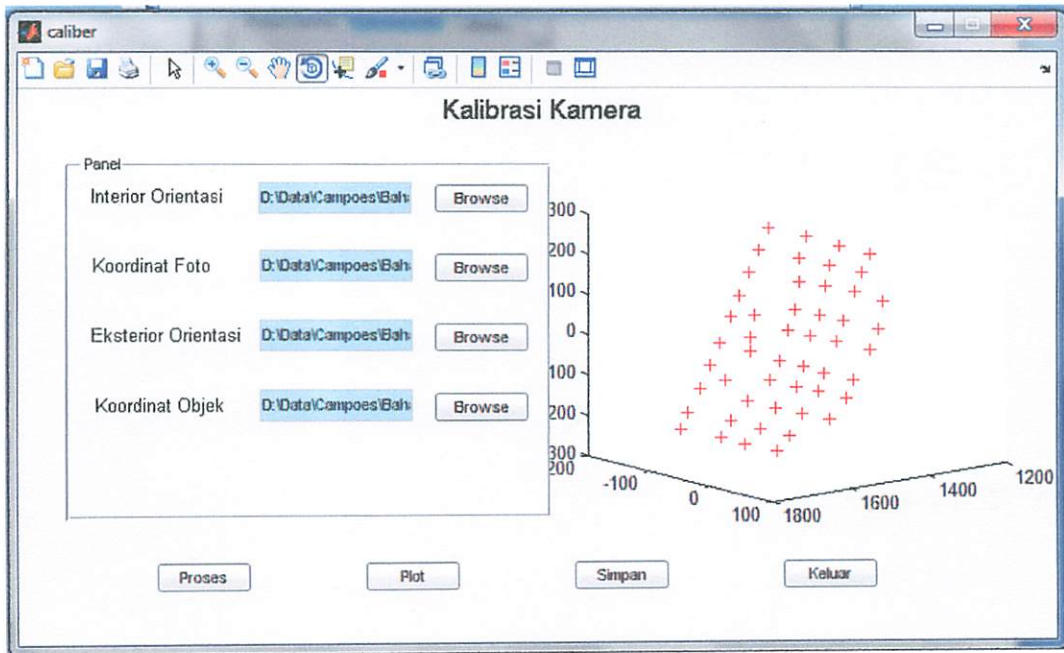
Gambar 4.4 Tampilan Awal Program SCBA

4. Selanjutnya inputkan data-data parameter awal seperti parameter *Interior Orientation*, parameter *Exterior Orientation*, Koordinat *Object Space Point* dan Koordinat foto yang telah tersimpan dalam file (\*.txt) dengan menekan tombol .



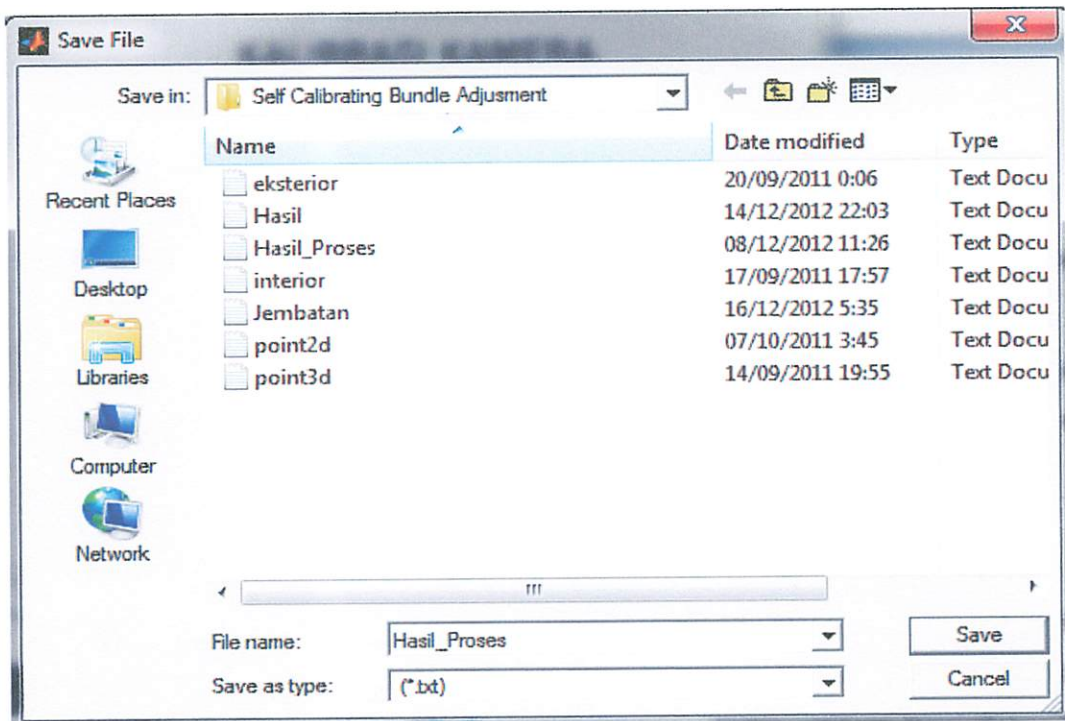
Gambar 4.5 Proses Input Data

5. Selanjutnya tekan tombol  untuk melakukan proses perhitungan *self calibrating bundle adjustment*.
6. Untuk menampilkan hasil pengolahan data, tekan tombol  untuk melakukan proses *plotting point*, maka akan muncul gambar sebagai berikut.



Gambar 4.6 Hasil Ploting Program SCBA

7. Untuk menyimpan data hasil proses tekan tombol  dan ketik nama file hasil proses sesuai keinginan kemudian tekan "Save"

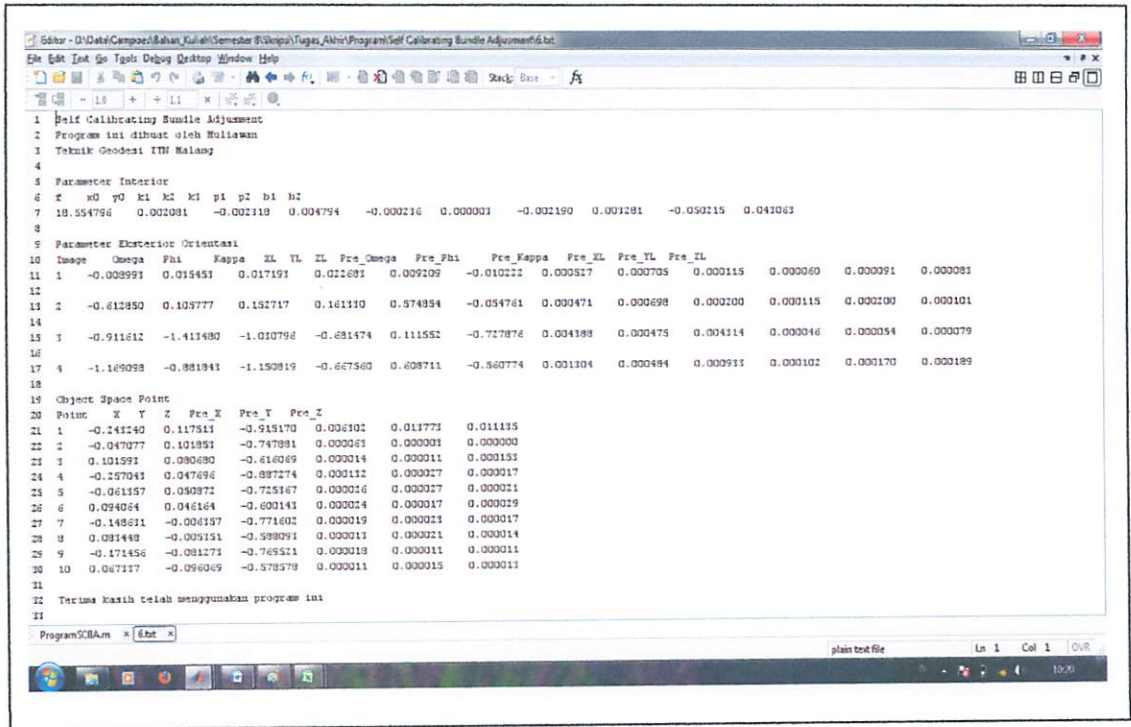


Gambar 4.7 Penyimpanan Hasil Program SCBA

8. Kemudian keluar dari jendela program dengan menekan tombol



9. Pengoprasian program selesai.



Gambar 4.8 Hasil penyimpanan ProgramSCBA dalam file \*.txt

### 4.2.3 Hasil Perhitungan Self Calibrating bundle Adjustment

Berikut penjabaran hasil dari proses perhitungan program *self calibrating bundle adjustment* menggunakan bahasa pemrograman *Matlab R2008b* :

1. Parameter kalibrasi kamera

Tabel 4.14 Parameter Kalibrasi Kamera

Parameter Kalibrasi Kamera	
Parameter	Nilai Akhir
fokus	34.999985
$x_0$	-0.001108
$y_0$	0.000796
$K_1$	-0.001334789
$K_2$	9.10432E-05
$K_3$	-1.2214E-06



Parameter Kalibrasi Kamera	
Parameter	Nilai Akhir
$P_1$	0.000104295
$P_2$	-0.002396816
$b_1$	0.01642606
$b_2$	-0.007187672

2. Parameter *exterior orientation* dan akurasi parameter *exterior orientation*.

Tabel 4.15 Parameter *Exterior Orientation*

Parameter <i>Exterior Orientation</i>						
Foto	$\omega$	$\phi$	$\kappa$	$X_L$	$Y_L$	$Z_L$
1	1.303606	0.087385	1.474289	111.9599	373.9012	362.676
2	1.288898	0.059295	3.045001	107.8999	374.2559	367.0321
3	1.556955	0.000553	1.55109	1.898897	3.0477	-4.8367
4	1.587341	-0.00583	3.134194	-1.05889	0.7943	-1.354
5	1.573341	0.005431	-0.00425	-0.2772	-0.0836	-0.1143
6	1.926458	0.152047	1.651793	151.443	566.7668	-378.222
7	2.228979	0.115141	1.689064	147.9682	640.9657	-753.903
8	2.275807	0.04989	-2.99528	77.3864	443.1879	-935.984
9	2.262152	0.058643	0.123662	77.89	437.2978	-941.429

Tabel 4.16 Akurasi Parameter *Exterior Orientation*

Akurasi Parameter <i>Exterior Orientation</i>						
Foto	$\omega$	$\phi$	$\kappa$	$X_L$	$Y_L$	$Z_L$
1	1.65E-06	1.7E-06	1.58E-05	1.11E-08	2.33E-09	3.95E-09
2	1.79E-06	1.62E-06	1.58E-05	1.12E-08	2.31E-09	3.59E-09
3	1.63E-06	1.72E-06	1.62E-05	6.42E-09	2.44E-10	1.2E-09
4	1.68E-06	1.63E-06	1.63E-05	6.44E-09	2.14E-10	1.19E-09
5	1.67E-06	1.63E-06	1.63E-05	6.45E-09	2.09E-10	1.25E-09
6	1.61E-06	1.68E-06	9.7E-06	2.69E-09	7.51E-10	1.91E-09
7	1.62E-06	1.7E-06	1.05E-05	1.42E-09	9.83E-10	1.14E-09
8	1.67E-06	1.63E-06	1.27E-05	1.13E-09	7.05E-10	9.26E-10
9	1.66E-06	1.63E-06	1.28E-05	1.13E-09	7.09E-10	9.24E-10



3. Parameter koordinat *object space point*

Tabel 4.17 Parameter Koordinat *Object Space Point*

Parameter Koordinat <i>Object Space Point</i>			
Point	X	Y	Z
1	-78.676	1750.929	-196.865
2	-84.6681	1724.214	-162.295
3	-89.0556	1684.24	-111.731
4	-98.7175	1645.126	-61.5787
5	-105.541	1608.932	-15.3447
6	-114.32	1566.369	38.9353
7	-121.154	1532.382	82.5535
8	-129.857	1492.607	133.2308
9	-138.126	1456.747	179.1248
10	-144.613	1420.895	225.3339
11	-91.5381	1405.908	223.5464
12	-81.3612	1440.984	178.9477
13	-61.4767	1474.053	132.6454
14	-42.224	1514.701	77.597
15	-31.6517	1548.568	34.0497
16	-16.1783	1593.677	-26.0675
17	-12.1672	1627.176	-69.401
18	-21.9359	1669.839	-117.109
19	-23.7461	1707.669	-162.344
20	-21.6988	1735.822	-197.783
21	11.6923	1728.334	-200.947
22	17.4003	1698.647	-166.228
23	18.0344	1659.808	-120.501
24	25.147	1617.205	-72.6336
25	17.5312	1586.492	-30.2741
26	-0.2768	1539.954	32.372
27	-7.98651	1505.127	75.0094
28	-25.5481	1461.619	133.2485
29	-38.463	1428.773	177.3786
30	-45.1881	1395.894	218.2859
31	-0.1028	1386.647	213.0766
32	5.606695	1416.887	175.353
33	13.4104	1449.126	133.4596

Parameter Koordinat <i>Object Space Point</i>			
Point	X	Y	Z
34	26.3395	1496.186	73.2374
35	35.1552	1530.565	29.9882
36	46.4508	1581.505	-35.3734
37	56.0673	1608.877	-73.7171
38	54.4606	1650.465	-122.304
39	58.0446	1689.349	-170.058
40	55.3473	1716.336	-203.151
41	93.9332	1639.417	-123.658
42	94.5202	1598.94	-76.1291
43	88.2212	1570.696	-39.4385
44	82.1153	1517.06	26.6061
45	73.7428	1482.688	70.4117
46	54.2089	1443.095	125.0793
47	-64.2183	1657.023	-85.735
48	-60.6374	1601.494	-19.6912
49	-71.3676	1581.8	7.545803
50	-86.3464	1549.217	52.3031

Tabel 4.18 Akurasi Parameter Koordinat *Object Space Point*

Akurasi Parameter Koordinat <i>Object Space Point</i>			
Point	X	Y	Z
1	2.21244E-08	2.14095E-07	2.32404E-07
2	1.59892E-06	9.32637E-08	1.31694E-09
3	7.59558E-07	7.75919E-07	1.0463E-05
4	7.91208E-06	6.84079E-09	8.20318E-10
5	1.58776E-09	6.14487E-09	8.65197E-10
6	2.10545E-09	4.38859E-09	8.1252E-10
7	2.22212E-09	3.26778E-09	9.34017E-10
8	3.0092E-09	2.86413E-09	1.26334E-09
9	3.49848E-09	1.88209E-09	1.3729E-09
10	3.15392E-09	3.54318E-09	1.67613E-09
11	3.62798E-09	5.36763E-09	1.68476E-09
12	5.56428E-09	7.04581E-09	2.08107E-09
13	6.41189E-09	1.08101E-08	2.65526E-09
14	7.30154E-09	1.08509E-08	1.86592E-09

Akurasi Parameter Koordinat <i>Object Space Point</i>			
Point	X	Y	Z
15	4.91E-09	8.12E-09	1.50E-09
16	3.88E-09	5.56E-09	9.11E-10
17	2.70E-09	4.40E-09	9.20E-10
18	1.78E-09	1.55E-09	6.71E-10
19	2.05E-09	2.78E-09	6.85E-10
20	1.81E-09	3.00E-09	4.00E-10
21	1.92E-09	5.42E-09	6.33E-10
22	1.85E-09	6.08E-09	5.59E-10
23	8.25E-10	6.97E-09	6.14E-10
24	9.42E-10	7.22E-09	7.65E-10
25	1.65E-09	6.28E-09	7.62E-10
26	1.58E-09	4.87E-09	7.00E-10
27	1.83E-09	3.69E-09	7.42E-10
28	2.13E-09	2.93E-09	7.03E-10
29	1.84E-09	1.28E-09	2.81E-10
30	1.44E-09	4.33E-09	6.89E-10
31	1.36E-09	5.59E-09	6.63E-10
32	1.28E-09	8.53E-09	1.27E-09
33	2.09E-09	1.08E-08	1.27E-09
34	2.84E-09	1.09E-08	1.01E-09
35	1.04E-09	9.00E-09	7.41E-10
36	1.39E-09	5.65E-09	6.49E-10
37	1.53E-09	2.93E-09	7.41E-10
38	2.05E-09	1.06E-09	7.28E-10
39	2.53E-09	2.55E-09	8.99E-10
40	2.85E-09	3.71E-09	1.10E-09
41	3.09E-09	4.79E-09	1.06E-09
42	4.00E-09	6.43E-09	1.14E-09
43	2.83E-09	7.21E-09	1.10E-09
44	3.26E-09	4.88E-09	1.51E-09
45	4.44E-09	3.77E-09	1.56E-09
46	4.51E-09	2.74E-09	1.49E-09
47	4.36E-09	1.97E-09	1.40E-09
48	4.82E-09	3.48E-09	1.23E-09
49	4.21E-09	5.28E-09	1.05E-09
50	3.28E-09	3.70E-09	9.30E-10

### 4.3 Pembahasan

Kalibrasi kamera ini menggunakan prinsip kolineariti yang lebih tepatnya menggunakan metode *Self Calibrating Bundle Adjustment*. Dengan metode ini akan menghasilkan parameter kalibrasi kamera, parameter IO, parameter EO, dan parameter koordinat *object space point*. Metode ini dibuat kedalam bahasa pemrograman *Matlab R2008b* dan akan menghasilkan parameter-parameter yang telah terkoreksi. Pemrograman dengan menggunakan *software Matlab R2008b* ini bertujuan untuk mempermudah dalam proses perhitungan kalibrasi kamera multi foto.

#### 4.3.1 Analisa Hasil Perhitungan *Self Calibrating Bundle Adjustment*

Dalam proses perhitungan *self calibrating bundle adjustment* yang dihasilkan dengan menggunakan bahasa pemrograman *Matlab R2008b*. Dimana program tersebut akan menghasilkan parameter kalibrasi kamera, parameter IO, parameter EO terkoreksi dan parameter koordinat *object space point* terkoreksi. Parameter tersebut perlu dilakukan analisis untuk mengetahui selisih antara parameter pendekatan awal dengan parameter yang telah dikoreksi.

##### A. Analisa hasil parameter EO terkoreksi

Setelah dihitung menggunakan *Matlab 2011b* dapat dilihat nilai selisih parameter EO awal dengan parameter EO terkoreksi.

Tabel 4.19 Hasil Selisih Parameter EO Awal dengan Parameter EO terkoreksi.

Hasil Selisih Parameter <i>Exterior Orientation</i>						
Foto	$\omega$	$\varphi$	$\kappa$	$X_L$	$Y_L$	$Z_L$
1	0.005077	-0.00346	-0.00459	6E-06	2E-06	5E-06
2	0.003604	0.003942	0.007946	-9E-06	-1E-06	1E-06

Hasil Selisih Parameter <i>Exterior Orientation</i>						
Foto	$\omega$	$\phi$	$\kappa$	$X_L$	$Y_L$	$Z_L$
3	0.004214	-0.00239	-0.00408	3.00E-06	0	3.00E-06
4	0.002942	0.004877	0.007317	-6.00E-06	0	2.00E-06
5	-0.00247	-0.00561	0.004125	2.00E-06	0	-2.00E-06
6	0.00093	-0.00388	-0.00456	4.00E-06	1.00E-06	0.000202
7	0.002705	-0.00349	-0.00452	3.00E-06	-1.00E-06	-0.0004
8	0.003062	0.005233	0.004911	-3.00E-06	-2.00E-06	-0.0005
9	-0.00287	-0.00578	0.002569	4.00E-06	2.00E-06	-0.0001

#### B. Analisa hasil parameter koordinat *object space point* terkoreksi

Setelah dihitung menggunakan *Matlab R2008b* dapat dilihat nilai selisih parameter koordinat *object space point* awal dengan parameter koordinat *object space point* terkoreksi

Tabel 4.20 Hasil Selisih Koordinat *Object Space Point* Awal dengan Koordinat *Object Space Point* Terkoreksi.

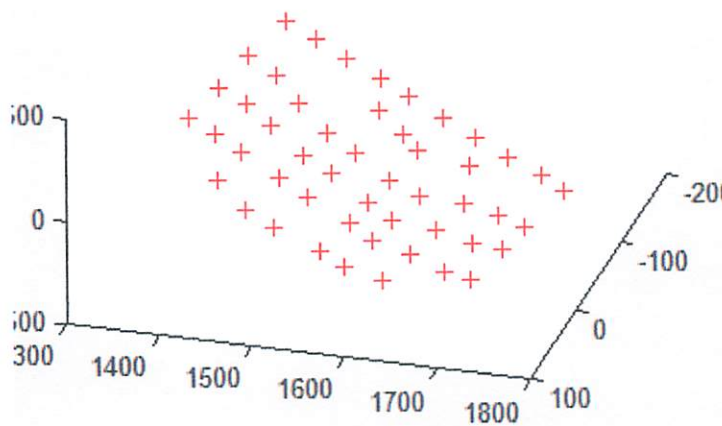
Hasil Selisih Parameter Koordinat <i>Object Space Point</i>			
Point	X	Y	Z
1	-2E-06	0.0003	0.000102
2	-4E-06	-0.0003	-0.0002
3	-2E-06	0.0003	0.000402
4	-3E-06	-0.0002	0
5	-0.0002	-0.0004	-1E-06
6	0.000398	9.9E-05	3E-06
7	-0.0003	0.000199	3E-06
8	-0.0005	-0.0003	0
9	0.000403	0.000201	-1E-06
10	0.000102	1E-04	3E-06
11	1E-06	0.0002	0
12	2E-06	-0.0004	2E-06
13	-1E-06	-0.0004	0
14	5E-06	-9.9E-05	-1E-06
15	-2E-06	0.000299	4E-06
16	-3E-06	0.000299	3E-06



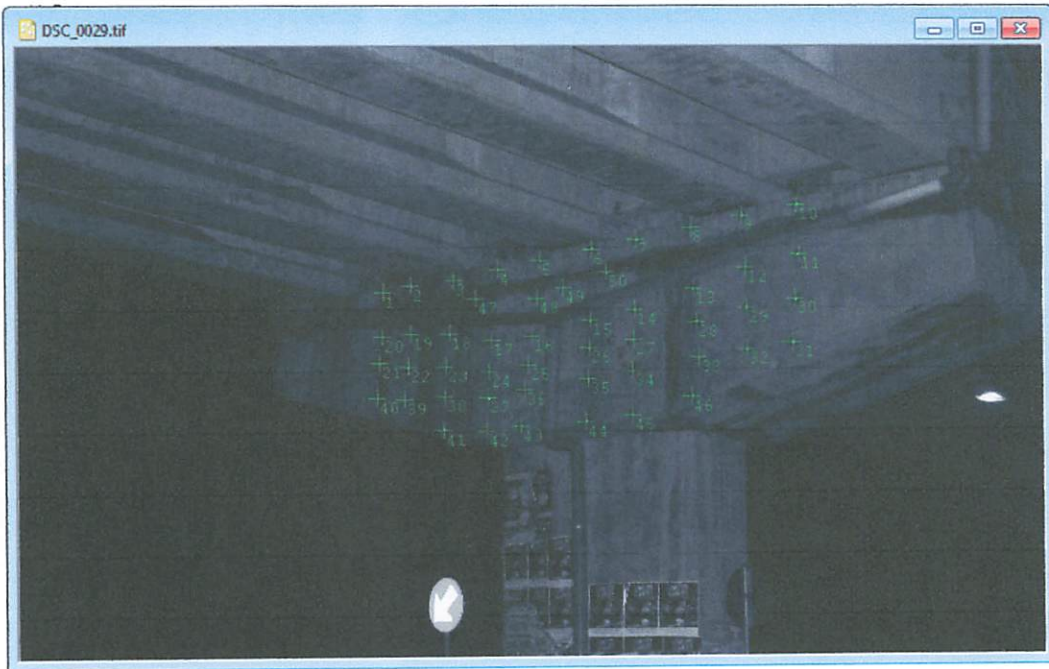
Hasil Selisih Parameter Koordinat <i>Object Space Point</i>			
Point	X	Y	Z
17	-2.00E-06	-0.0003	-2.00E-06
18	1.00E-06	-0.0003	-0.0004
19	-2.00E-06	0.0005	0.000301
20	-2.00E-06	-0.0001	-0.0001
21	-2.00E-06	0	0.000301
22	-2.00E-06	0.0003	-0.0003
23	2.00E-06	0.0003	-0.0004
24	-3.00E-06	0.000399	1.00E-06
25	-3.00E-06	-1.00E-06	1.00E-06
26	-1.00E-06	0	-2.00E-06
27	5.00E-06	0.000101	-1.00E-06
28	0	0.000299	1.00E-06
29	3.00E-06	-0.0002	-3.00E-06
30	3.00E-06	0.0005	1.00E-06
31	4.00E-06	0.000501	-2.00E-06
32	5.00E-06	0.0004	0
33	0	-0.0004	1.00E-06
34	-2.00E-06	0.000199	0
35	0	0.0004	-3.00E-06
36	2.00E-06	-0.0004	-1.00E-06
37	-2.00E-06	0.0004	0
38	0	1.00E-04	9.60E-05
39	-2.00E-06	-0.0002	0.000399
40	0	-0.0002	0.000397
41	0	-1.00E-04	0.0003
42	-2.00E-06	-0.0002	-1.00E-06
43	-2.00E-06	0	-1.00E-06
44	2.00E-06	0.000101	-4.00E-06
45	2.00E-06	0	0
46	-1.00E-06	9.90E-05	-1.00E-06
47	2.00E-06	-0.0003	-5.00E-06
48	-1.00E-06	-0.0002	0
49	3.00E-06	0.000301	-3.00E-06
50	1.00E-06	-0.0003	2.00E-06

Sebagaimana dalam Tabel 4.19 dan tabel 4.20, didapat nilai selisih terbesar untuk parameter EO yaitu 0.0079 mm dan yang terkecil 0.000 mm dengan rata-rata selisih sebesar 0.00027 mm. Sedangkan selisih terbesar untuk parameter OSP yaitu 0.0005 mm dan yang terkecil 0.000 mm dengan rata-rata selisih sebesar 1.588E-05.

### C. Analisa hasil plotting point dari Program SCBA



*Gambar 4.9 Hasil Plotting Program SCBA*



*Gambar 4.10 Hasil Dijitasi Menggunakan Australis*

Dengan menganalisa hasil plotting point program self calibrating bundle adjustment dengan hasil dijitasi menggunakan software australis dapat diambil kesimpulan bahwa hasil penelitian ini sudah mendekati kebenaran dengan memperhatikan bentuk dari susunan titik-titik target yang sudah benar.

#### **4.3.2 Keunggulan dan Kelemahan Penggunaan Matlab R2008b**

Keunggulan perhitungan menggunakan matlab adalah sebagai berikut :

- a. Mudah untuk melakukan perhitungan matematis karena telah tersedia fitur otomatis untuk menghitung, seperti dapat disusun program untuk melakukan perhitungan secara fleksibel berapapun jumlah data yang diinput.
- b. Bisa melakukan berapapun besar dimensi matriksnya, karena matlab memang khusus digunakan untuk menghitung matriks.

c. Penggunaan waktu yang lebih efisien saat proses perhitungan karena keseluruhan tahap dapat dihitung secara otomatis setelah listing kode disusun secara benar.

Sedangkan kelemahan dari penggunaan matlab ini yaitu inefisiensi waktu saat menyusun listing kode dan formnya. Untuk menghasilkan program yang dapat melakukan perhitungan secara efisien memerlukan persiapan yang lebih matang sehingga akan memerlukan waktu yang lebih banyak dalam melakukan persiapan tersebut.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil selama proses pelaksanaan penelitian mengenai “Pemrograman *Self Calibrating Bundle Adjustment*” ialah sebagai berikut :

- a. Program *Self Calibrating Bundle Adjustment* membutuhkan inputan awal parameter IO, parameter EO tiap foto, parameter koordinat *object space point*, dan koordinat foto.
- b. Program *Self Calibrating Bundle Adjustment* mengeluarkan parameter kalibrasi kamera, parameter EO terkoreksi dan akurasi parameter EO, parameter koordinat *object space point* terkoreksi, dan akurasi parameter koordinat *object space point*.
- c. Dari hasil perhitungan *self calibrating bundle adjustment* didapat nilai selisih terbesar untuk parameter *exterior orientation* yaitu 0.0079 mm dan yang terkecil 0.000 mm dengan rata-rata selisih sebesar 0.00027 mm. Sedangkan selisih terbesar untuk parameter koordianat *object space point* yaitu 0.0005 mm dan yang terkecil 0.000 mm dengan rata-rata selisih sebesar 1.588E-05.



### 3.2. Saran

Dalam proses penelitian ini terdapat beberapa hal yang belum dapat dipenuhi secara keseluruhan. Sehingga, berbagai kekurangan tersebut akan diakomodir dalam beberapa saran sebagai pertimbangan dalam proses pengembangan selanjutnya. Adapun saran-saran tersebut antara lain :

- a. Pada aplikasi yang telah dibuat, inputan data masih dilakukan secara manual (menggunakan notepad). Sehingga, perlu ditambahkan sebuah interface yang digunakan untuk mengekstrak titik koordinat foto secara langsung dari foto, perhitungan relatif orientasi, *intersection*, dan *resection*.
- b. Untuk meningkatkan akurasi bisa dilakukan dengan menambahkan jumlah foto dan jumlah titik untuk proses perhitungannya.
- c. Pada aplikasi ini masih perlu dilengkapi dengan proses absolut orientasi untuk lebih menyakini kebenaran dari aplikasi yang telah dibuat, yang diharapkan bisa dilengkapi pada penelitian selanjutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A.B., 2005. *Analisis Ke Atas Prestasi Kamera Digital Kompak Untuk Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat*, Universiti Teknologi Malaysia, Skudai Malaysia.
- Atkinson, K. B. 2001. *Close Range Photogrammetry and Mechine Vision*. Whittles Publishing. Scotland, UK.
- Australis. 2004. *Users Manual*. Photometrix, Australia.
- Brown, D.C., 1974. *Evolution, Application and Potential of The Bundle Method of Photogrammetric Triangulation*, Geodetic Services, Inc., Melbourne, Florida.
- Chen, Y.-Q., 1983. *Analysis Of Deformation Surveys - A Generalized Method*, University Of New Brunswick, Fredericton, N.B.
- Cooper, M. A. R. & Robson, S. 2001. *Close Range Photogrammetry and Computer Vision : Theory of Close Range Photogrammetry*. Whittles Publishing Services. Scotland
- Dorstel, C., Jacobsen, K. and Stallmann, D. 2004. *DMC – Photogrammetric Accuracy – Calibration Aspect And Generation Of Synthetic DMC Images*. University of Hannover, Germany.
- Elias, R. 2007. *Enhancing Accuracy of Camera Rotation Angles Detected by Inaccurate Sensors and Expressing them in Different Systems for Wide Baseline Stereo*. Computer Science and Engineering Department.
- Faig, W. 1984. *Aerial Triangulation and Digital Mapping*. School of Surveying The University of New South Wales Australia.
- Fraser, C. S., M. R. Shortis and G. Ganci. 1995. *Multi-sensor system self-calibration*. Department of Geomatics, University of Melbourne, Parkville 3052, Australia.
- Fraser, C. S., 1997. *Digital Camera Self-Calibration*. ISPRS Journal Of Photogrammetry and Remote Sensing, 52(4) : 149-159.

- Fraser, C. S. 2006a. *Evolution of Network Orientation Procedures*. ISPRS. XXXVI. 114-120.
- Fraser, C. S. 2006b. *Interior Orientation and Network Design*. Lecture Notes 2. University of Melbourne.
- Fraser, C. S. 2006d. *Relative Orientation and Absolute Orientation*. Lecture Notes 2. University of Melbourne.
- Geosystem, L., 2006. *Leica Photogrammetry Suite Project Manager, Leica Geosystems Geospatial Imaging*, United States of America.
- Geosystem, L. 2006a. *Leica Photogrammetry Suite : Project Manager*. Norcross, USA.
- Geosystem, L. 2006b. *Stereo Analyst User's Guide*. United States of America
- Ghos, S. K. 2005. *Fundamental of Computational Photogrammetry*. Concept Publishing Co.
- Heindl, F.J., 1981. *Direct Editing of Normal Equations of the Banded-Bordered Form*. Photogrammetric Engineering And Remote Sensing, 47(4): 489-493.
- Karara, H. M. 1989 *Non-Topographic Photogrammetry : Second Edition*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Kiefer, 1993. *Principles Of Remote Sensing*. Photogrammetry and Remote Sensing Division Indian Institute of Remote Sensing, Dehra Dun.
- King, B. A. 1993. *Methods For The Photogrammetric adjustment of Bundles of Constrained Streospairs*. Departement of Civil Engineering And Surveying. New South Wales, The University of Newcastle.
- Mcglone, J. C. 1989 *Analytic Data-Reduction Schemes in Non-Topographic Photogrammetry*, Falls Church, Virginia. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Mikhail, E. M., Bethel, J. S. & Mcglone, J. C. 2001. *Introduction to Modern Photogrammetry*. John Wiley & Sons Inc. Brisbane
- Schut, G., H., 1980. *Block Adjustment of Bundles. The Canadian Surveyor*, 34(2): 139-152.

- Shih, T. Y. 1994. *RLT : A Closed Form Solution for Relative Orientation*. IAPRS. 357-363.
- Shirkhani, A., Varshosaz, D.M. and Saadatseresht, D.M., 2006. *3D Coordinate Measurement of Dam by Close Range Photogrammetry*, K.N. Toosi University of Technology, Tehran.
- Slabaugh, G. G. 2004. *Computing Euler Angels from a Rotation Matrix*. 1-6.
- Shortis, M. R. Clarke, T. A., and Short, T. 1994. *A Comparison Of Some Techniques For The Subpixel Location Of Discrete Target Images*. Videometrics III, SPIE Vol. 2350 239-250.
- Stefanovic, P. 1973. *Relative Orientation - a New Approach*. ITC Journal. 417-448.
- Thompson, E. H. 1959. *A Rational Algebraic Formulation of the Problem of Relative Orientation*. Photogrammetric Record. Vol III.
- Tjahjadi, E., 2008a. *Ketelitian Pengukuran Dari Kamera Non Metrik*, Institut Teknologi Nasional, Malang.
- Tjahjadi, M. E. 2008b. *Precesion Feature Extraction Form Unmanned Aerialplatforms*. ITN, Malang.
- Triggs, B., McLauchlan, P., F., Hartley, R., I. and Fitzgibbon, A., W. , 2000a. *Bundle Adjustment —A Modern Synthesis*. Lecture Notes in Computer Science 1883: 298-372.
- Trucco, E. & Verri, A. 1998. *Introductory Techniques for 3D Computer Vision*. Prentice Hall. Edinburgh
- Wang, Z. 1990. *Principle of Photogrammetry (with Remote Sensing)*. Beijing, China : Press of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping.
- Wang, X. and Clarke, T.A., 1999. *Separate Adjustment Of Close Range Photogrammetric Measurements*, City University, London.
- Wolf, P. R. 1980. *Adjustment Computations (Practical Least Square for Surveyors)*. Madison, Wisconsin
- Wolf, P. R. 1993. *Elemen Fotogrametri*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta

- Wolf, P. R. & Dewitt, B. A. 2000. *Elements of Photogrammetry : with application in GIS 3rd Edition*. McGraw-Hill Companies. New York
- Wolf, P.R. and Dewitt, B.A., 2004. *Element Of Photogrammetry with Application in GIS*. Mc Graw Hill, New York.
- Zheng, Z. & Wang, X. 1992. *A General Solution of a Closed-Form Space Resection*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol 58. 327-338.

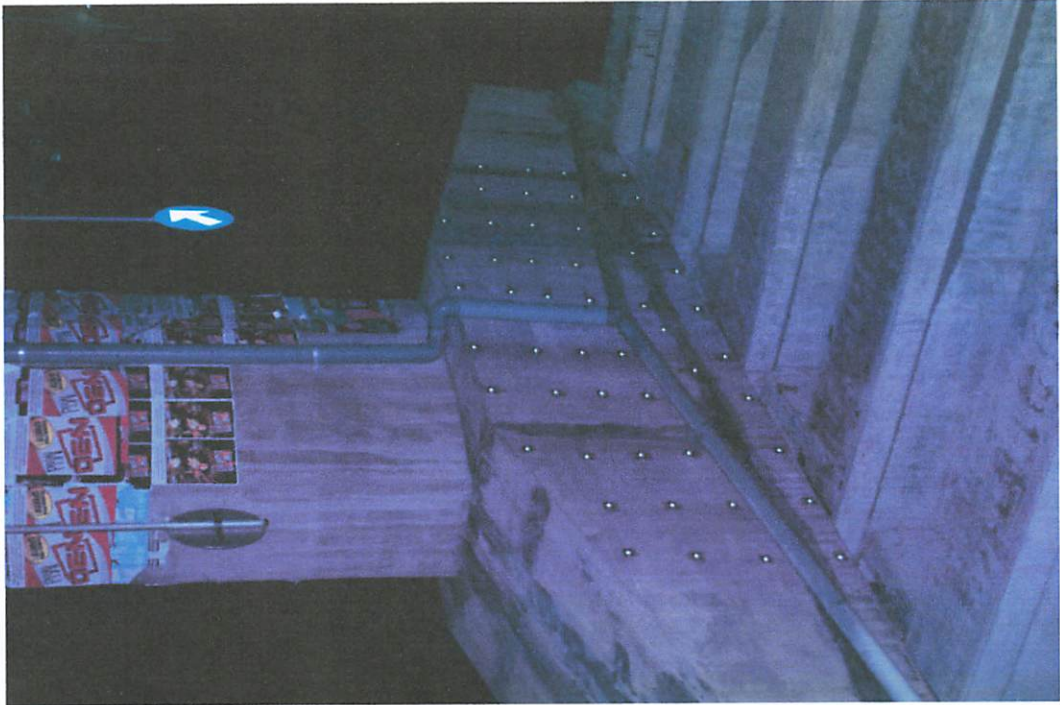


**LAMPIRAN**  
**FOTO DAN HASIL PENELITIAN**

**A. Data Foto FlyOver Arjosari**



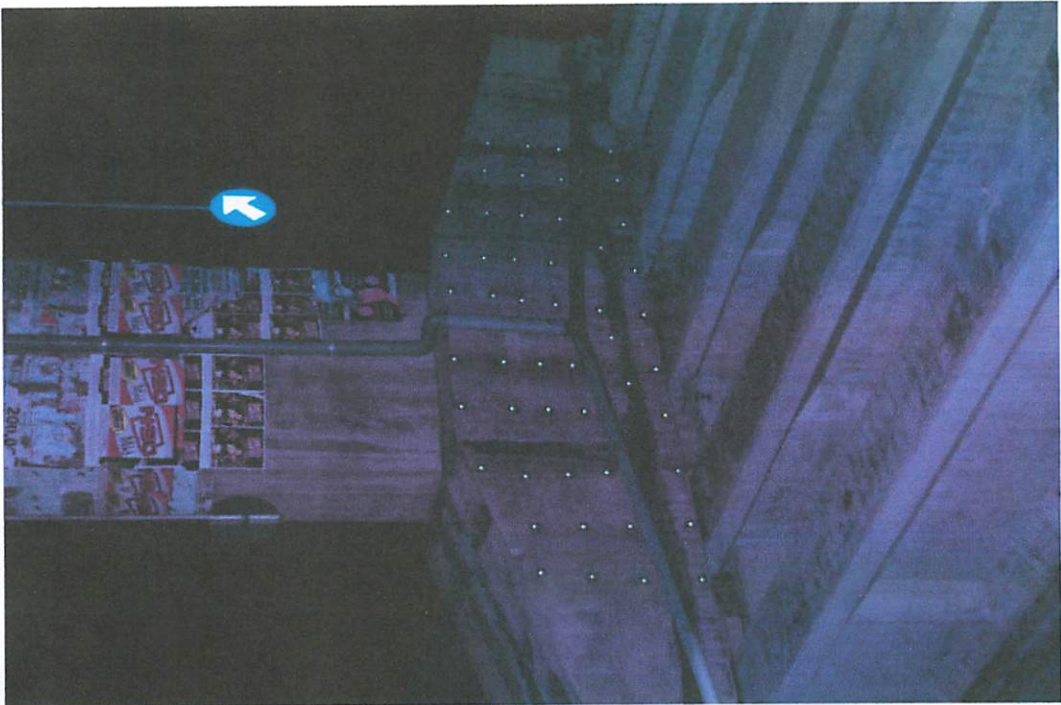
*Gambar 1A Data Foto 1*



*Gambar 2A Data Foto 2*

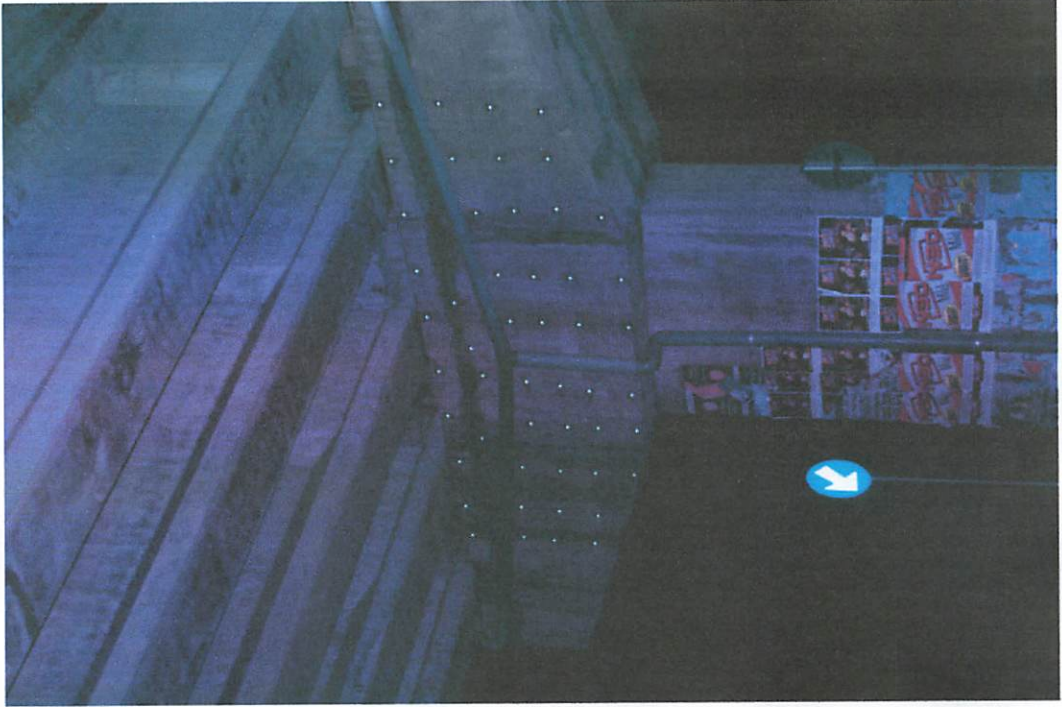


*Gambar 3A Data Foto 3*



*Gambar 4A Data Foto 4*

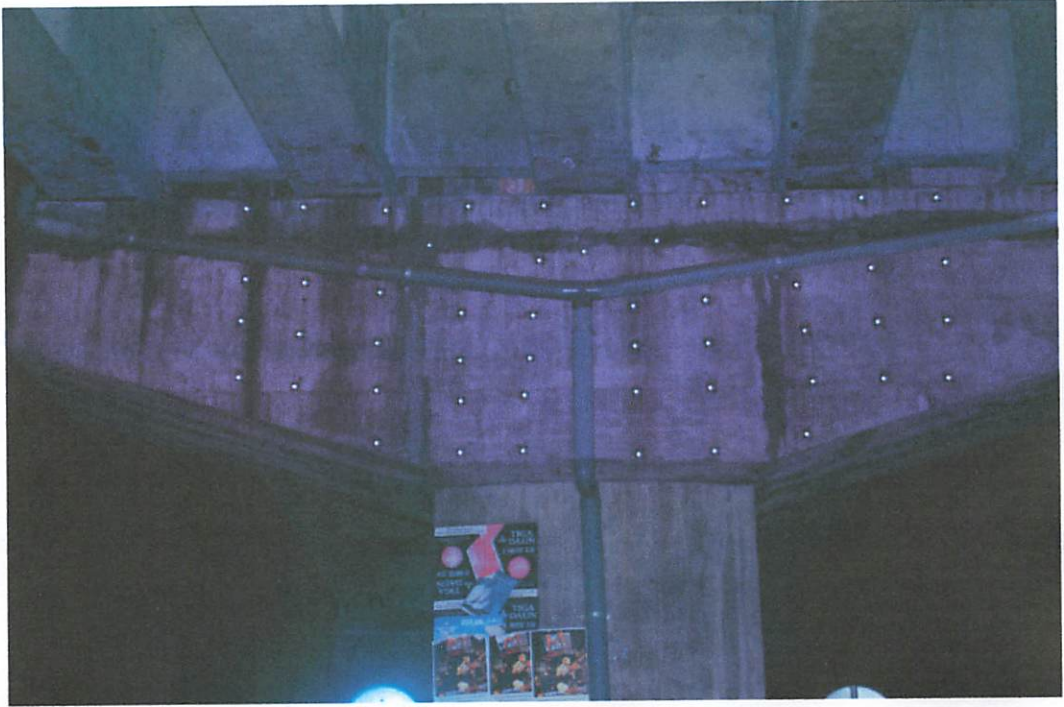




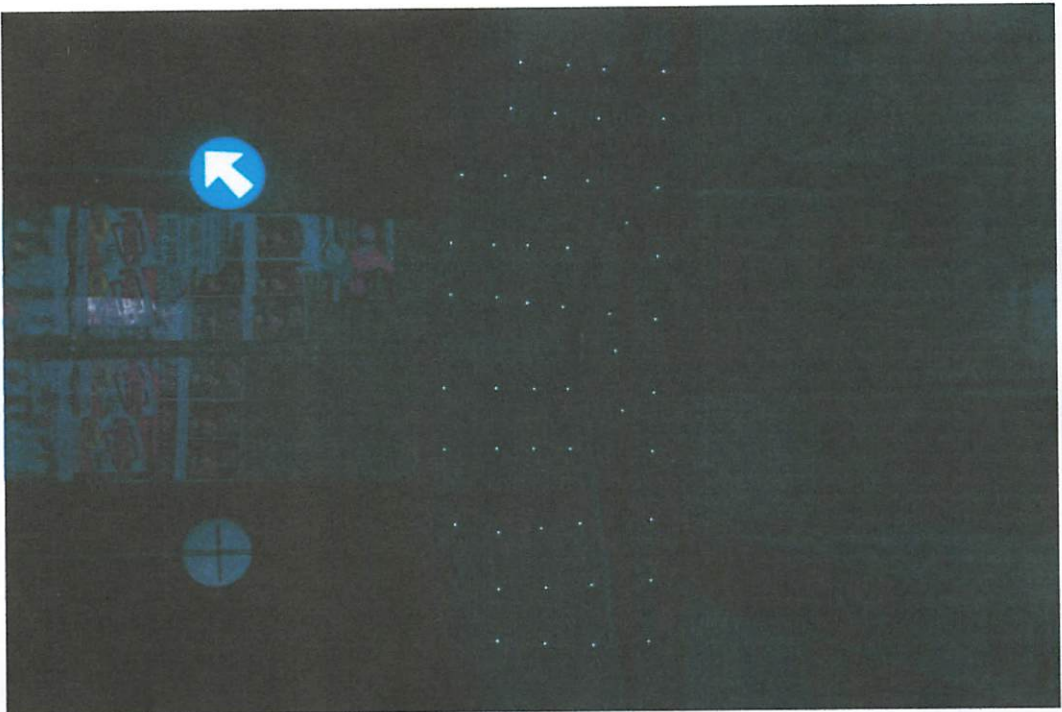
*Gambar 5A Data Foto 5*



*Gambar 6A Data Foto 6*

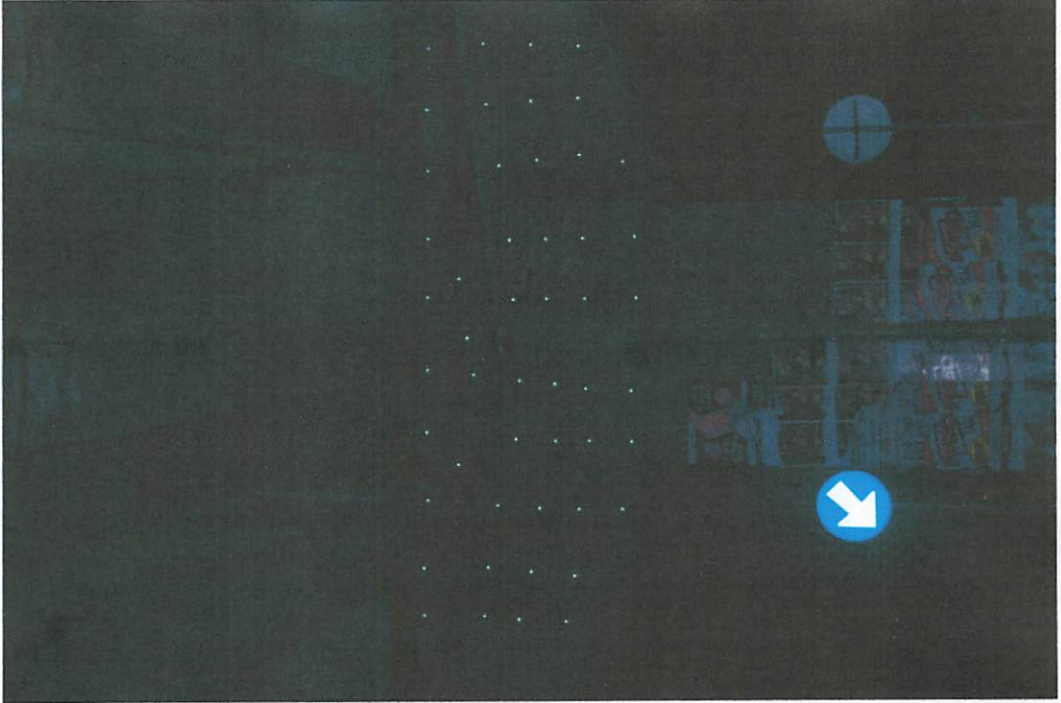


*Gambar 7A Data Foto 7*



*Gambar 8A Data Foto 8*





*Gambar 9A Data Foto 9*

## B. Data Parameter Awal

### 1B. Data Parameter Awal IO

Parameter Kalibrasi Kamera	
Parameter	Nilai Pendekatan
fokus	35.000
$x_0$	0.000
$y_0$	0.000
$K_1$	0.000
$K_2$	0.000
$K_3$	0.000
$P_1$	0.000
$P_2$	0.000
$b_1$	0.000
$b_2$	0.000

### 2B. Data Parameter Awal EO

Parameter <i>Exterior Orientation</i>						
Foto	$\omega$	$\phi$	$\kappa$	$X_L$	$Y_L$	$Z_L$
1	1.308683	0.083926	1.469698	111.9599	373.9012	362.676
2	1.292502	0.063237	3.052947	107.8999	374.2559	367.0321
3	1.561169	-0.00184	1.547011	1.8989	3.0477	-4.8367
4	1.590283	-0.00095	3.141511	-1.0589	0.7943	-1.354
5	1.570868	-0.00018	-0.00012	-0.2772	-0.0836	-0.1143
6	1.927388	0.14817	1.647238	151.443	566.7668	-378.222
7	2.231684	0.111654	1.684546	147.9682	640.9657	-753.903
8	2.278869	0.055123	-2.99037	77.3864	443.1879	-935.984
9	2.25928	0.052861	0.126231	77.89	437.2978	-941.429

3B. Data Parameter Awal Koordinat OSP

Parameter Koordinat <i>Object Space Point</i>			
Point	X	Y	Z
1	-78.676	1750.929	-196.865
2	-84.6681	1724.214	-162.295
3	-89.0556	1684.24	-111.731
4	-98.7175	1645.126	-61.5787
5	-105.541	1608.932	-15.3447
6	-114.32	1566.369	38.9353
7	-121.154	1532.382	82.5535
8	-129.858	1492.607	133.2308
9	-138.126	1456.747	179.1248
10	-144.613	1420.895	225.3339
11	-91.5381	1405.908	223.5464
12	-81.3612	1440.984	178.9477
13	-61.4767	1474.053	132.6454
14	-42.224	1514.701	77.597
15	-31.6517	1548.568	34.0497
16	-16.1783	1593.677	-26.0675
17	-12.1672	1627.176	-69.401
18	-21.9359	1669.839	-117.109
19	-23.7461	1707.669	-162.344
20	-21.6988	1735.822	-197.783
21	11.6923	1728.334	-200.947
22	17.4003	1698.647	-166.228
23	18.0344	1659.808	-120.501
24	25.147	1617.205	-72.6336
25	17.5312	1586.492	-30.2741
26	-0.2768	1539.954	32.372
27	-7.9865	1505.127	75.0094
28	-25.5481	1461.619	133.2485
29	-38.463	1428.773	177.3786
30	-45.1881	1395.894	218.2859
31	-0.1028	1386.648	213.0766
32	5.6067	1416.887	175.353
33	13.4104	1449.126	133.4596
34	26.3395	1496.186	73.2374
35	35.1552	1530.565	29.9882

36	46.4508	1581.505	-35.3734
37	56.0673	1608.877	-73.7171
38	54.4606	1650.465	-122.304
39	58.0446	1689.349	-170.058
40	55.3473	1716.336	-203.151
41	93.9332	1639.417	-123.658
42	94.5202	1598.94	-76.1291
43	88.2212	1570.696	-39.4385
44	82.1153	1517.06	26.6061
45	73.7428	1482.688	70.4117
46	54.2089	1443.095	125.0793
47	-64.2183	1657.023	-85.735
48	-60.6374	1601.494	-19.6912
49	-71.3676	1581.8	7.5458
50	-86.3464	1549.217	52.3031

#### 4B. Data Awal Koordinat Foto

##### 1. Data Koordinat Foto 1

Koordinat Foto 1				
Point	x	y	sx	sy
1	-4.23068	1.052707	0.001	0.001
2	-3.72867	1.353046	0.001	0.001
3	-2.94767	1.713569	0.001	0.001
4	-2.12381	2.231383	0.001	0.001
5	-1.30343	2.689531	0.001	0.001
6	-0.26539	3.292322	0.001	0.001
7	0.638499	3.807398	0.001	0.001
8	1.769457	4.478759	0.001	0.001
9	2.88198	5.150888	0.001	0.001
10	4.106034	5.825964	0.001	0.001
11	4.163306	4.212332	0.001	0.001
12	2.973965	3.490174	0.001	0.001
13	1.844274	2.532914	0.001	0.001
14	0.60279	1.608134	0.001	0.001
15	-0.30525	1.056395	0.001	0.001
16	-1.47075	0.33551	0.001	0.001
17	-2.25608	0.037516	0.001	0.001
18	-3.04524	0.076477	0.001	0.001

19	-3.74656	-0.0647	0.001	0.001
20	-4.2688	-0.24743	0.001	0.001
21	-4.33659	-1.03273	0.001	0.001
22	-3.82523	-1.0574	0.001	0.001
23	-3.1225	-0.9186	0.001	0.001
24	-2.33118	-0.92915	0.001	0.001
25	-1.55068	-0.57001	0.001	0.001
26	-0.33082	0.190001	0.001	0.001
27	0.56009	0.630134	0.001	0.001
28	1.894485	1.490291	0.001	0.001
29	2.998512	2.187705	0.001	0.001
30	4.107787	2.724063	0.001	0.001
31	4.05275	1.239957	0.001	0.001
32	3.015441	0.808712	0.001	0.001
33	1.942859	0.322144	0.001	0.001
34	0.544702	-0.3679	0.001	0.001
35	-0.37078	-0.80903	0.001	0.001
36	-1.64875	-1.36188	0.001	0.001
37	-2.35494	-1.73894	0.001	0.001
38	-3.16422	-1.8369	0.001	0.001
39	-3.90794	-2.05308	0.001	0.001
40	-4.40468	-2.07065	0.001	0.001
41	-3.20517	-2.85005	0.001	0.001
42	-2.40721	-2.76636	0.001	0.001
43	-1.73868	-2.51116	0.001	0.001
44	-0.43968	-2.16251	0.001	0.001
45	0.503186	-1.77862	0.001	0.001
46	1.779355	-0.97315	0.001	0.001
47	-2.51743	1.251872	0.001	0.001
48	-1.35822	1.518868	0.001	0.001
49	-0.84935	1.956748	0.001	0.001
50	0.038212	2.642879	0.001	0.001



## 2. Data Koordinat Foto 2

Koordinat Foto 2				
Point	x	y	sx	sy
1	1.98746	3.935817	0.001	0.001
2	2.279261	3.434817	0.001	0.001
3	2.628686	2.656123	0.001	0.001
4	3.134432	1.831061	0.001	0.001
5	3.580709	1.009712	0.001	0.001
6	4.171202	-0.03084	0.001	0.001
7	4.674746	-0.93817	0.001	0.001
8	5.333856	-2.07565	0.001	0.001
9	5.994825	-3.19676	0.001	0.001
10	6.658386	-4.43196	0.001	0.001
11	5.027324	-4.46453	0.001	0.001
12	4.31767	-3.26485	0.001	0.001
13	3.373796	-2.12451	0.001	0.001
14	2.464707	-0.8746	0.001	0.001
15	1.926216	0.035357	0.001	0.001
16	1.223494	1.202115	0.001	0.001
17	0.93787	1.986177	0.001	0.001
18	0.99003	2.769352	0.001	0.001
19	0.861476	3.465241	0.001	0.001
20	0.687113	3.986353	0.001	0.001
21	-0.0966	4.060134	0.001	0.001
22	-0.12932	3.553652	0.001	0.001
23	-0.00328	2.855277	0.001	0.001
24	-0.02702	2.070696	0.001	0.001
25	0.318108	1.292838	0.001	0.001
26	1.057979	0.070972	0.001	0.001
27	1.484015	-0.81975	0.001	0.001
28	2.324232	-2.16005	0.001	0.001
29	3.007563	-3.27107	0.001	0.001
30	3.528393	-4.38738	0.001	0.001
31	2.036652	-4.30989	0.001	0.001
32	1.621233	-3.26801	0.001	0.001
33	1.151568	-2.19292	0.001	0.001
34	0.483776	-0.79217	0.001	0.001
35	0.059251	0.12305	0.001	0.001
36	-0.47164	1.399149	0.001	0.001

37	-0.83626	2.102773	0.001	0.001
38	-0.92005	2.90681	0.001	0.001
39	-1.1222	3.64547	0.001	0.001
40	-1.13072	4.136776	0.001	0.001
41	-1.92912	2.957276	0.001	0.001
42	-1.86005	2.166091	0.001	0.001
43	-1.61722	1.500366	0.001	0.001
44	-1.29336	0.207959	0.001	0.001
45	-0.92619	-0.73327	0.001	0.001
46	-0.14384	-2.01261	0.001	0.001
47	2.158878	2.232637	0.001	0.001
48	2.407196	1.077722	0.001	0.001
49	2.837866	0.565933	0.001	0.001
50	3.513311	-0.32564	0.001	0.001

### 3. Data Koordinat Foto 3

Koordinat Foto 3				
Point	x	y	sx	sy
1	-3.32522	1.521838	0.001	0.001
2	-2.69468	1.682057	0.001	0.001
3	-1.73445	1.836384	0.001	0.001
4	-0.73653	2.10956	0.001	0.001
5	0.22702	2.327132	0.001	0.001
6	1.415185	2.61298	0.001	0.001
7	2.419027	2.849782	0.001	0.001
8	3.643036	3.156414	0.001	0.001
9	4.808921	3.457597	0.001	0.001
10	6.04357	3.73089	0.001	0.001
11	6.089484	2.459739	0.001	0.001
12	4.884607	2.128758	0.001	0.001
13	3.706511	1.587344	0.001	0.001
14	2.370273	1.074252	0.001	0.001
15	1.360163	0.79078	0.001	0.001
16	0.036505	0.402071	0.001	0.001
17	-0.87385	0.286723	0.001	0.001
18	-1.83234	0.4585	0.001	0.001
19	-2.69733	0.463914	0.001	0.001
20	-3.34994	0.399289	0.001	0.001

21	-3.41484	-0.26912	0.001	0.001
22	-2.77357	-0.37375	0.001	0.001
23	-1.89739	-0.37359	0.001	0.001
24	-0.9325	-0.51221	0.001	0.001
25	-0.04013	-0.33441	0.001	0.001
26	1.343218	0.08868	0.001	0.001
27	2.340839	0.291163	0.001	0.001
28	3.768367	0.748903	0.001	0.001
29	4.907475	1.10505	0.001	0.001
30	6.026144	1.322619	0.001	0.001
31	5.958942	0.199922	0.001	0.001
32	4.920803	0.034215	0.001	0.001
33	3.822922	-0.17672	0.001	0.001
34	2.329656	-0.5036	0.001	0.001
35	1.313584	-0.71418	0.001	0.001
36	-0.13856	-0.97126	0.001	0.001
37	-0.94772	-1.18069	0.001	0.001
38	-1.93079	-1.1406	0.001	0.001
39	-2.85015	-1.20995	0.001	0.001
40	-3.46532	-1.15166	0.001	0.001
41	-1.95586	-1.98238	0.001	0.001
42	-0.99034	-2.02165	0.001	0.001
43	-0.21074	-1.90126	0.001	0.001
44	1.2688	-1.79508	0.001	0.001
45	2.305909	-1.61797	0.001	0.001
46	3.658728	-1.16219	0.001	0.001
47	-1.21532	1.360803	0.001	0.001
48	0.154356	1.364631	0.001	0.001
49	0.740402	1.63069	0.001	0.001
50	1.739032	2.023938	0.001	0.001

#### 4. Data Koordinat Foto 4

Koordinat Foto 4				
Point	x	y	sx	sy
1	1.746607	4.494319	0.001	0.001
2	1.890417	3.85815	0.001	0.001
3	2.01944	2.892819	0.001	0.001
4	2.265324	1.890062	0.001	0.001
5	2.456497	0.923452	0.001	0.001
6	2.710197	-0.26709	0.001	0.001
7	2.917747	-1.27026	0.001	0.001
8	3.189458	-2.49243	0.001	0.001
9	3.456424	-3.65409	0.001	0.001
10	3.69356	-4.88103	0.001	0.001
11	2.427742	-4.89562	0.001	0.001
12	2.132064	-3.69698	0.001	0.001
13	1.624614	-2.51791	0.001	0.001
14	1.14811	-1.17957	0.001	0.001
15	0.892294	-0.16834	0.001	0.001
16	0.537316	1.159142	0.001	0.001
17	0.445429	2.070589	0.001	0.001
18	0.642214	3.024175	0.001	0.001
19	0.669785	3.890194	0.001	0.001
20	0.621709	4.545692	0.001	0.001
21	-0.04644	4.626432	0.001	0.001
22	-0.16739	3.986547	0.001	0.001
23	-0.18951	3.109401	0.001	0.001
24	-0.35258	2.148889	0.001	0.001
25	-0.19665	1.253392	0.001	0.001
26	0.191046	-0.13559	0.001	0.001
27	0.367149	-1.13159	0.001	0.001
28	0.787223	-2.55898	0.001	0.001
29	1.1118	-3.69565	0.001	0.001
30	1.298393	-4.80573	0.001	0.001
31	0.184278	-4.71247	0.001	0.001
32	0.046081	-3.68281	0.001	0.001
33	-0.13696	-2.59162	0.001	0.001
34	-0.42494	-1.10128	0.001	0.001
35	-0.60947	-0.08601	0.001	0.001
36	-0.83173	1.367305	0.001	0.001

37	-1.02126	2.180136	0.001	0.001
38	-0.95665	3.161591	0.001	0.001
39	-1.00388	4.083937	0.001	0.001
40	-0.93013	4.699155	0.001	0.001
41	-1.79888	3.206734	0.001	0.001
42	-1.86192	2.241853	0.001	0.001
43	-1.75928	1.461948	0.001	0.001
44	-1.6879	-0.01528	0.001	0.001
45	-1.53618	-1.05157	0.001	0.001
46	-1.11485	-2.40419	0.001	0.001
47	1.529602	2.386621	0.001	0.001
48	1.496365	1.018992	0.001	0.001
49	1.747235	0.427947	0.001	0.001
50	2.112625	-0.57508	0.001	0.001

5. Data Koordinat Foto 5

Koordinat Foto 5				
Point	x	y	sx	sy
1	-1.37925	-3.93885	0.001	0.001
2	-1.52328	-3.30529	0.001	0.001
3	-1.65356	-2.34538	0.001	0.001
4	-1.89977	-1.34573	0.001	0.001
5	-2.09292	-0.38147	0.001	0.001
6	-2.34794	0.807482	0.001	0.001
7	-2.55784	1.810884	0.001	0.001
8	-2.8314	3.033507	0.001	0.001
9	-3.10129	4.198457	0.001	0.001
10	-3.341	5.429081	0.001	0.001
11	-2.07335	5.444073	0.001	0.001
12	-1.77537	4.241081	0.001	0.001
13	-1.26591	3.059477	0.001	0.001
14	-0.78779	1.719628	0.001	0.001
15	-0.53111	0.708772	0.001	0.001
16	-0.17546	-0.61681	0.001	0.001
17	-0.08306	-1.52604	0.001	0.001
18	-0.27899	-2.47646	0.001	0.001
19	-0.30595	-3.33798	0.001	0.001
20	-0.2576	-3.99071	0.001	0.001



21	0.408465	-4.07092	0.001	0.001
22	0.529323	-3.4348	0.001	0.001
23	0.550857	-2.56147	0.001	0.001
24	0.713148	-1.60428	0.001	0.001
25	0.557662	-0.71091	0.001	0.001
26	0.169446	0.675302	0.001	0.001
27	-0.00714	1.671674	0.001	0.001
28	-0.42784	3.099992	0.001	0.001
29	-0.75389	4.23963	0.001	0.001
30	-0.94178	5.353941	0.001	0.001
31	0.174115	5.260566	0.001	0.001
32	0.313386	4.226675	0.001	0.001
33	0.496908	3.13282	0.001	0.001
34	0.785439	1.641245	0.001	0.001
35	0.970025	0.626328	0.001	0.001
36	1.191334	-0.8243	0.001	0.001
37	1.38059	-1.63541	0.001	0.001
38	1.315924	-2.61303	0.001	0.001
39	1.363289	-3.5316	0.001	0.001
40	1.289616	-4.14315	0.001	0.001
41	2.156679	-2.65873	0.001	0.001
42	2.219904	-1.69725	0.001	0.001
43	2.118056	-0.91899	0.001	0.001
44	2.04774	0.555138	0.001	0.001
45	1.896755	1.590802	0.001	0.001
46	1.47612	2.944924	0.001	0.001
47	-1.16501	-1.84068	0.001	0.001
48	-1.13369	-0.47686	0.001	0.001
49	-1.38469	0.113416	0.001	0.001
50	-1.75174	1.115796	0.001	0.001

6. Data Koordinat Foto 6

Koordinat Foto 6				
Point	x	y	sx	sy
1	-6.73	2.056562	0.001	0.001
2	-5.5661	2.213834	0.001	0.001
3	-3.82573	2.327135	0.001	0.001
4	-2.03392	2.596071	0.001	0.001
5	-0.33506	2.790721	0.001	0.001
6	1.726039	3.049317	0.001	0.001
7	3.431369	3.25598	0.001	0.001
8	5.479978	3.529341	0.001	0.001
9	7.393181	3.794618	0.001	0.001
10	9.369825	4.009348	0.001	0.001
11	9.561419	2.391401	0.001	0.001
12	7.592518	2.073975	0.001	0.001
13	5.650021	1.470963	0.001	0.001
14	3.384723	0.90446	0.001	0.001
15	1.628089	0.608731	0.001	0.001
16	-0.70458	0.191023	0.001	0.001
17	-2.3276	0.114937	0.001	0.001
18	-4.06351	0.437889	0.001	0.001
19	-5.64892	0.523018	0.001	0.001
20	-6.85656	0.492676	0.001	0.001
21	-7.01862	-0.4475	0.001	0.001
22	-5.83571	-0.65256	0.001	0.001
23	-4.20537	-0.72273	0.001	0.001
24	-2.43432	-0.9944	0.001	0.001
25	-0.83944	-0.82319	0.001	0.001
26	1.618426	-0.34883	0.001	0.001
27	3.37841	-0.14798	0.001	0.001
28	5.813994	0.352696	0.001	0.001
29	7.71715	0.728906	0.001	0.001
30	9.563247	0.921545	0.001	0.001
31	9.552712	-0.56082	0.001	0.001
32	7.819779	-0.70383	0.001	0.001
33	5.969374	-0.90256	0.001	0.001
34	3.386852	-1.23859	0.001	0.001
35	1.58822	-1.45831	0.001	0.001
36	-1.01509	-1.71074	0.001	0.001

37	-2.47599	-1.94294	0.001	0.001
38	-4.29739	-1.81384	0.001	0.001
39	-6.02244	-1.84502	0.001	0.001
40	-7.16616	-1.71022	0.001	0.001
41	-4.37407	-3.03005	0.001	0.001
42	-2.56693	-3.1519	0.001	0.001
43	-1.13527	-3.02974	0.001	0.001
44	1.553874	-2.97462	0.001	0.001
45	3.404314	-2.7913	0.001	0.001
46	5.751875	-2.24617	0.001	0.001
47	-2.92633	1.622878	0.001	0.001
48	-0.49027	1.497159	0.001	0.001
49	0.543514	1.801777	0.001	0.001
50	2.268573	2.230061	0.001	0.001

7. Data Koordinat Foto 7

Koordinat Foto 7				
Point	x	y	sx	sy
1	-6.2524	3.200377	0.001	0.001
2	-5.01681	3.225019	0.001	0.001
3	-3.21351	3.144174	0.001	0.001
4	-1.41507	3.206729	0.001	0.001
5	0.236694	3.208428	0.001	0.001
6	2.177318	3.230198	0.001	0.001
7	3.729981	3.242126	0.001	0.001
8	5.540039	3.276498	0.001	0.001
9	7.175062	3.318009	0.001	0.001
10	8.806029	3.307606	0.001	0.001
11	8.992361	1.894308	0.001	0.001
12	7.372758	1.79315	0.001	0.001
13	5.733336	1.433771	0.001	0.001
14	3.754074	1.12358	0.001	0.001
15	2.160928	1.005864	0.001	0.001
16	-0.01876	0.819561	0.001	0.001
17	-1.58745	0.885074	0.001	0.001
18	-3.35614	1.347776	0.001	0.001
19	-5.00706	1.578897	0.001	0.001
20	-6.28954	1.665259	0.001	0.001

21	-6.39701	0.754647	0.001	0.001
22	-5.1272	0.453213	0.001	0.001
23	-3.42541	0.24817	0.001	0.001
24	-1.6246	-0.15005	0.001	0.001
25	-0.09615	-0.10981	0.001	0.001
26	2.193581	0.136088	0.001	0.001
27	3.794424	0.179507	0.001	0.001
28	5.914947	0.435051	0.001	0.001
29	7.506764	0.617191	0.001	0.001
30	9.022418	0.638428	0.001	0.001
31	9.038305	-0.61496	0.001	0.001
32	7.62614	-0.62141	0.001	0.001
33	6.082615	-0.67029	0.001	0.001
34	3.83885	-0.79023	0.001	0.001
35	2.214464	-0.86403	0.001	0.001
36	-0.2187	-0.91552	0.001	0.001
37	-1.61637	-1.03267	0.001	0.001
38	-3.45516	-0.78262	0.001	0.001
39	-5.24276	-0.68567	0.001	0.001
40	-6.46051	-0.47015	0.001	0.001
41	-3.45855	-1.92695	0.001	0.001
42	-1.63843	-2.14868	0.001	0.001
43	-0.25906	-2.11941	0.001	0.001
44	2.25846	-2.22289	0.001	0.001
45	3.917823	-2.16258	0.001	0.001
46	5.93819	-1.82043	0.001	0.001
47	-2.27262	2.373842	0.001	0.001
48	0.128755	2.015914	0.001	0.001
49	1.103459	2.199436	0.001	0.001
50	2.692738	2.426237	0.001	0.001

8. Data Koordinat Foto 8

Koordinat Foto 8				
Point	x	y	sx	sy
1	2.91651	6.357746	0.001	0.001
2	2.893386	5.321073	0.001	0.001
3	2.760597	3.815336	0.001	0.001
4	2.749968	2.315757	0.001	0.001
5	2.693217	0.944326	0.001	0.001
6	2.643139	-0.66271	0.001	0.001
7	2.598625	-1.94501	0.001	0.001
8	2.56414	-3.43494	0.001	0.001
9	2.541442	-4.77716	0.001	0.001
10	2.477143	-6.11346	0.001	0.001
11	1.27358	-6.18612	0.001	0.001
12	1.244578	-4.86266	0.001	0.001
13	0.99743	-3.50769	0.001	0.001
14	0.803327	-1.87638	0.001	0.001
15	0.758604	-0.56585	0.001	0.001
16	0.673685	1.2316	0.001	0.001
17	0.779562	2.523559	0.001	0.001
18	1.231532	3.975402	0.001	0.001
19	1.484325	5.343158	0.001	0.001
20	1.601215	6.410905	0.001	0.001
21	0.82895	6.513039	0.001	0.001
22	0.531431	5.462769	0.001	0.001
23	0.301485	4.056533	0.001	0.001
24	-0.09372	2.581114	0.001	0.001
25	-0.10657	1.324575	0.001	0.001
26	0.025244	-0.56047	0.001	0.001
27	0.007381	-1.86947	0.001	0.001
28	0.15196	-3.60663	0.001	0.001
29	0.251743	-4.90978	0.001	0.001
30	0.219291	-6.13978	0.001	0.001
31	-0.82359	-6.08291	0.001	0.001
32	-0.78408	-4.9425	0.001	0.001
33	-0.77614	-3.6921	0.001	0.001
34	-0.80388	-1.8657	0.001	0.001
35	-0.81174	-0.53989	0.001	0.001
36	-0.77752	1.450111	0.001	0.001



37	-0.83314	2.598389	0.001	0.001
38	-0.5644	4.103883	0.001	0.001
39	-0.4255	5.577791	0.001	0.001
40	-0.20649	6.581945	0.001	0.001
41	-1.51945	4.131598	0.001	0.001
42	-1.76091	2.645979	0.001	0.001
43	-1.77909	1.51868	0.001	0.001
44	-1.94207	-0.52527	0.001	0.001
45	-1.94407	-1.87281	0.001	0.001
46	-1.72372	-3.52054	0.001	0.001
47	2.069816	3.051223	0.001	0.001
48	1.682358	1.072231	0.001	0.001
49	1.804648	0.261504	0.001	0.001
50	1.943242	-1.05761	0.001	0.001

#### 9. Data Koordinat Foto 9

Koordinat Foto 9				
Point	x	y	sx	sy
1	-2.36754	-5.78649	0.001	0.001
2	-2.37335	-4.76172	0.001	0.001
3	-2.2822	-3.26809	0.001	0.001
4	-2.31269	-1.78091	0.001	0.001
5	-2.29397	-0.41816	0.001	0.001
6	-2.28766	1.181511	0.001	0.001
7	-2.27848	2.459567	0.001	0.001
8	-2.28414	3.946323	0.001	0.001
9	-2.29851	5.286904	0.001	0.001
10	-2.27091	6.62519	0.001	0.001
11	-1.0723	6.72898	0.001	0.001
12	-1.00791	5.406387	0.001	0.001
13	-0.72542	4.059864	0.001	0.001
14	-0.4894	2.437791	0.001	0.001
15	-0.41044	1.133782	0.001	0.001
16	-0.2792	-0.65125	0.001	0.001
17	-0.35065	-1.93644	0.001	0.001
18	-0.7607	-3.38679	0.001	0.001
19	-0.97497	-4.74731	0.001	0.001
20	-1.06227	-5.80541	0.001	0.001

21	-0.29455	-5.88621	0.001	0.001
22	-0.02708	-4.84064	0.001	0.001
23	0.164656	-3.44357	0.001	0.001
24	0.518328	-1.9707	0.001	0.001
25	0.498984	-0.72318	0.001	0.001
26	0.318844	1.14728	0.001	0.001
27	0.302921	2.451469	0.001	0.001
28	0.114312	4.180125	0.001	0.001
29	-0.01946	5.479294	0.001	0.001
30	-0.01916	6.709951	0.001	0.001
31	1.023366	6.680341	0.001	0.001
32	1.012059	5.538783	0.001	0.001
33	1.036456	4.28957	0.001	0.001
34	1.110394	2.468563	0.001	0.001
35	1.152182	1.148522	0.001	0.001
36	1.168983	-0.83052	0.001	0.001
37	1.252788	-1.96874	0.001	0.001
38	1.024689	-3.46787	0.001	0.001
39	0.924082	-4.92975	0.001	0.001
40	0.732639	-5.92727	0.001	0.001
41	1.972779	-3.47043	0.001	0.001
42	2.175619	-1.99196	0.001	0.001
43	2.165233	-0.87289	0.001	0.001
44	2.277102	1.163305	0.001	0.001
45	2.245431	2.504917	0.001	0.001
46	1.985072	4.142972	0.001	0.001
47	-1.61742	-2.49298	0.001	0.001
48	-1.28578	-0.51896	0.001	0.001
49	-1.42896	0.28381	0.001	0.001
50	-1.60227	1.592431	0.001	0.001

### C. Data Hasil Perhitungan

#### 1. Hasil Parameter Kalibrasi Kamera

Parameter Kalibrasi Kamera	
Parameter	Nilai Akhir
fokus	34.999985
$x_0$	-0.001108
$y_0$	0.000796
$K_1$	-0.001334789
$K_2$	9.10E-05
$K_3$	-1.22E-06
$P_1$	0.000104295
$P_2$	-0.002396816
$b_1$	0.01642606
$b_2$	-0.007187672

#### 2. Hasil Parameter *Exterior Orientation* Terkoreksi

Parameter <i>Exterior Orientation</i>						
Foto	$\omega$	$\phi$	$\kappa$	$X_L$	$Y_L$	$Z_L$
1	1.303606	0.087385	1.474289	111.9599	373.9012	362.676
2	1.288898	0.059295	3.045001	107.8999	374.2559	367.0321
3	1.556955	0.000553	1.55109	1.898897	3.0477	-4.8367
4	1.587341	-0.00583	3.134194	-1.05889	0.7943	-1.354
5	1.573341	0.005431	-0.00425	-0.2772	-0.0836	-0.1143
6	1.926458	0.152047	1.651793	151.443	566.7668	-378.222
7	2.228979	0.115141	1.689064	147.9682	640.9657	-753.903
8	2.275807	0.04989	-2.99528	77.3864	443.1879	-935.984
9	2.262152	0.058643	0.123662	77.89	437.2978	-941.429

#### 3. Akurasi Parameter *Exterior Orientation*

Akurasi Parameter <i>Exterior Orientation</i>						
Foto	$\omega$	$\phi$	$\kappa$	$X_L$	$Y_L$	$Z_L$
1	1.65E-06	1.70E-06	1.58E-05	1.11E-08	2.33E-09	3.95E-09
2	1.79E-06	1.62E-06	1.58E-05	1.12E-08	2.31E-09	3.59E-09
3	1.63E-06	1.72E-06	1.62E-05	6.42E-09	2.44E-10	1.20E-09

4	1.68E-06	1.63E-06	1.63E-05	6.44E-09	2.14E-10	1.19E-09
5	1.67E-06	1.63E-06	1.63E-05	6.45E-09	2.09E-10	1.25E-09
6	1.61E-06	1.68E-06	9.70E-06	2.69E-09	7.51E-10	1.91E-09
7	1.62E-06	1.70E-06	1.05E-05	1.42E-09	9.83E-10	1.14E-09
8	1.67E-06	1.63E-06	1.27E-05	1.13E-09	7.05E-10	9.26E-10
9	1.66E-06	1.63E-06	1.28E-05	1.13E-09	7.09E-10	9.24E-10

#### 4. Hasil Parameter Koordinat *Object Space Point* Terkoreksi

Parameter Koordinat <i>Object Space Point</i>			
Point	X	Y	Z
1	-78.676	1750.929	-196.865
2	-84.6681	1724.214	-162.295
3	-89.0556	1684.24	-111.731
4	-98.7175	1645.126	-61.5787
5	-105.541	1608.932	-15.3447
6	-114.32	1566.369	38.9353
7	-121.154	1532.382	82.5535
8	-129.857	1492.607	133.2308
9	-138.126	1456.747	179.1248
10	-144.613	1420.895	225.3339
11	-91.5381	1405.908	223.5464
12	-81.3612	1440.984	178.9477
13	-61.4767	1474.053	132.6454
14	-42.224	1514.701	77.597
15	-31.6517	1548.568	34.0497
16	-16.1783	1593.677	-26.0675
17	-12.1672	1627.176	-69.401
18	-21.9359	1669.839	-117.109
19	-23.7461	1707.669	-162.344
20	-21.6988	1735.822	-197.783
21	11.6923	1728.334	-200.947
22	17.4003	1698.647	-166.228
23	18.0344	1659.808	-120.501
24	25.147	1617.205	-72.6336
25	17.5312	1586.492	-30.2741
26	-0.2768	1539.954	32.372
27	-7.98651	1505.127	75.0094
28	-25.5481	1461.619	133.2485

29	-38.463	1428.773	177.3786
30	-45.1881	1395.894	218.2859
31	-0.1028	1386.647	213.0766
32	5.606695	1416.887	175.353
33	13.4104	1449.126	133.4596
34	26.3395	1496.186	73.2374
35	35.1552	1530.565	29.9882
36	46.4508	1581.505	-35.3734
37	56.0673	1608.877	-73.7171
38	54.4606	1650.465	-122.304
39	58.0446	1689.349	-170.058
40	55.3473	1716.336	-203.151
41	93.9332	1639.417	-123.658
42	94.5202	1598.94	-76.1291
43	88.2212	1570.696	-39.4385
44	82.1153	1517.06	26.6061
45	73.7428	1482.688	70.4117
46	54.2089	1443.095	125.0793
47	-64.2183	1657.023	-85.735
48	-60.6374	1601.494	-19.6912
49	-71.3676	1581.8	7.545803
50	-86.3464	1549.217	52.3031

5. Akurasi Parameter Koordinat *Object Space Point*

Akurasi Parameter Koordinat <i>Object Space Point</i>			
Point	X	Y	Z
1	2.21E-08	2.14E-07	2.32E-07
2	1.60E-06	9.33E-08	1.32E-09
3	7.60E-07	7.76E-07	1.05E-05
4	7.91E-06	6.84E-09	8.20E-10
5	1.59E-09	6.14E-09	8.65E-10
6	2.11E-09	4.39E-09	8.13E-10
7	2.22E-09	3.27E-09	9.34E-10
8	3.01E-09	2.86E-09	1.26E-09
9	3.50E-09	1.88E-09	1.37E-09
10	3.15E-09	3.54E-09	1.68E-09
11	3.63E-09	5.37E-09	1.68E-09
12	5.56E-09	7.05E-09	2.08E-09



13	6.41E-09	1.08E-08	2.66E-09
14	7.30E-09	1.09E-08	1.87E-09
15	4.91E-09	8.12E-09	1.50E-09
16	3.88E-09	5.56E-09	9.11E-10
17	2.70E-09	4.40E-09	9.20E-10
18	1.78E-09	1.55E-09	6.71E-10
19	2.05E-09	2.78E-09	6.85E-10
20	1.81E-09	3.00E-09	4.00E-10
21	1.92E-09	5.42E-09	6.33E-10
22	1.85E-09	6.08E-09	5.59E-10
23	8.25E-10	6.97E-09	6.14E-10
24	9.42E-10	7.22E-09	7.65E-10
25	1.65E-09	6.28E-09	7.62E-10
26	1.58E-09	4.87E-09	7.00E-10
27	1.83E-09	3.69E-09	7.42E-10
28	2.13E-09	2.93E-09	7.03E-10
29	1.84E-09	1.28E-09	2.81E-10
30	1.44E-09	4.33E-09	6.89E-10
31	1.36E-09	5.59E-09	6.63E-10
32	1.28E-09	8.53E-09	1.27E-09
33	2.09E-09	1.08E-08	1.27E-09
34	2.84E-09	1.09E-08	1.01E-09
35	1.04E-09	9.00E-09	7.41E-10
36	1.39E-09	5.65E-09	6.49E-10
37	1.53E-09	2.93E-09	7.41E-10
38	2.05E-09	1.06E-09	7.28E-10
39	2.53E-09	2.55E-09	8.99E-10
40	2.85E-09	3.71E-09	1.10E-09
41	3.09E-09	4.79E-09	1.06E-09
42	4.00E-09	6.43E-09	1.14E-09
43	2.83E-09	7.21E-09	1.10E-09
44	3.26E-09	4.88E-09	1.51E-09
45	4.44E-09	3.77E-09	1.56E-09
46	4.51E-09	2.74E-09	1.49E-09
47	4.36E-09	1.97E-09	1.40E-09
48	4.82E-09	3.48E-09	1.23E-09
49	4.21E-09	5.28E-09	1.05E-09
50	3.28E-09	3.70E-09	9.30E-10

## D. List Code Program Aplikasi

### 1. List Code Fungsi "caliber.m"

```
function varargout = caliber(varargin)
% CALIBER M-file for caliber.fig
%     CALIBER, by itself, creates a new CALIBER or raises the
existing
%     singleton*.
%
%     H = CALIBER returns the handle to a new CALIBER or the
handle to
%     the existing singleton*.
%
%     CALIBER('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the
local
%     function named CALLBACK in CALIBER.M with the given input
arguments.
%
%     CALIBER('Property','Value',...) creates a new CALIBER or
raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property
value pairs are
%     applied to the GUI before caliber_OpeningFcn gets called.
An
%     unrecognized property name or invalid value makes property
application
%     stop. All inputs are passed to caliber_OpeningFcn via
varargin.
%
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows
only one
%     instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help caliber

% Last Modified by GUIDE v2.5 07-Jan-2013 22:15:44

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @caliber_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @caliber_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
```

```

% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before caliber is made visible.
function caliber_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to caliber (see VARARGIN)

% Choose default command line output for caliber
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes caliber wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = caliber_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit1 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit2 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit3 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

```



```

% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit4 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
myform = guidata(gcbo);
[filename,direktori]=uigetfile('*.txt','Load Data File'); %
memanggil data dalam format .txt
eval(['cd '' direktori '' ;']);
eval(['interior=load('' filename '')']);
set(myform.pushbutton1,'UserData',interior);
[a,b] = fileattrib(filename); % menampilkan alamat file
name = b.Name;
set(myform.edit1,'string',name);

```





```

lint(k,5),hasilint(k,6),hasilint(k,7),hasilint(k,8),hasilint(k,9),
hasilint(k,10));
fprintf(fout,'\n');
end;
hasileks=get(myform.pushbutton3,'Userdata')
fprintf(fout,'Parameter Eksterior Orientasi\n');
fprintf(fout,'%s\t %s\t %s\t %s\t %s\t %s\t %s\t %s\t %s\t %s\t
%s\t %s\t
%s\n','Id_Image','Omega','Phi','Kappa','XL','YL','ZL','Pre_Omega',
'Pre_Phi','Pre_Kappa','Pre_XL','Pre_YL','Pre_ZL');
for k=1:size(hasileks,1)
    l = (k);
    fprintf(fout,'%i\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %d\t %d\t
%d\t %d\t %d\t
%d\n',l,hasileks(k,2),hasileks(k,3),hasileks(k,4),hasileks(k,5),ha
sileks(k,6),hasileks(k,7),hasileks(k,8),hasileks(k,9),hasileks(k,1
0),hasileks(k,11),hasileks(k,12),hasileks(k,13));
fprintf(fout,'\n');
end;
hasilp3d=get(myform.pushbutton4,'Userdata')
fprintf(fout,'Object Space Point\n');
fprintf(fout,'%s\t %s\t %s\t %s\t %s\t %s\t
%s\n','Id_Point','X','Y','Z','Pre_X','Pre_Y','Pre_Z');
for p=1:size(hasilp3d,1)
    r = (p);
    fprintf(fout,'%i\t %f\t %f\t %f\t %d\t %d\t
%d\n',r,hasilp3d(p,2),hasilp3d(p,3),hasilp3d(p,4),hasilp3d(p,5),ha
silp3d(p,6),hasilp3d(p,7));
end;
fprintf(fout,'\n');
fprintf(fout,'Terima kasih telah menggunakan program ini\n');
fclose(fout);

```

```

% --- Executes on button press in pushbutton8.
function pushbutton8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
close;

```

## 2. List Code Fungsi “*collinier\_intersection.m*”

```

function A = collinier_intersection(int,eks,p3)

M = rotationmatriks(eks(2),eks(3),eks(4));
dx = p3(2)-eks(5); dy = p3(3)-eks(6); dz = p3(4)-eks(7);
r = M(1,1)*dx+M(1,2)*dy+M(1,3)*dz;
s = M(2,1)*dx+M(2,2)*dy+M(2,3)*dz;
q = M(3,1)*dx+M(3,2)*dy+M(3,3)*dz;

A(1,1) = ((int(1)/q^2)*(r*M(3,1)-q*M(1,1)));
A(1,2) = ((int(1)/q^2)*(r*M(3,2)-q*M(1,2)));
A(1,3) = ((int(1)/q^2)*(r*M(3,3)-q*M(1,3)));

```

```

A(2,1) = ((int(1)/q^2)*(s*M(3,1)-q*M(2,1)));
A(2,2) = ((int(1)/q^2)*(s*M(3,2)-q*M(2,2)));
A(2,3) = ((int(1)/q^2)*(s*M(3,3)-q*M(2,3)));

```

### 3. List Code Fungsi “collinier\_observation.m”

```

function L = collinier_observation(int,eks,p2,p3)

M = rotationmatriks(eks(2),eks(3),eks(4));
dx = p3(2)-eks(5); dy = p3(3)-eks(6); dz = p3(4)-eks(7);
k = M(1,1)*dx+M(1,2)*dy+M(1,3)*dz;
l = M(2,1)*dx+M(2,2)*dy+M(2,3)*dz;
m = M(3,1)*dx+M(3,2)*dy+M(3,3)*dz;

xc = p2(3)-int(2);
yc = p2(4)-int(3);
r = sqrt(xc^2+yc^2);

dxx = -int(2) - (xc/int(1)) + xc*r^2*int(4) + xc*r^4*int(5) +
xc*r^6*int(6) + (r^2+2*xc^2)*int(7) + 2*int(8)*xc*yc + int(9)*xc +
int(10)*yc;
dyy = -int(3) - (yc/int(1)) + yc*r^2*int(4) + yc*r^4*int(5) +
yc*r^6*int(6) + (r^2+2*yc^2)*int(8);

L(1) = p2(3)-int(2)+dxx+int(1)*k/m;
L(2) = p2(4)-int(3)+dyy+int(1)*l/m;

```

### 4. List Code Fungsi “collinier\_resection.m”

```

function A = collinier_resection(int,eks,p3)

M = rotationmatriks(eks(2),eks(3),eks(4));
dx = p3(2)-eks(5);
dy = p3(3)-eks(6);
dz = p3(4)-eks(7);
r = M(1,1)*dx+M(1,2)*dy+M(1,3)*dz;
s = M(2,1)*dx+M(2,2)*dy+M(2,3)*dz;
q = M(3,1)*dx+M(3,2)*dy+M(3,3)*dz;

A(1,1) = (int(1)/q^2)*(r*(-M(3,3)*dy+M(3,2)*dz)-q*(-
M(1,3)*dy+M(1,2)*dz));
A(1,2) =
(int(1)/q^2)*(r*(cos(eks(3))*dx+sin(eks(2))*sin(eks(3))*dy-
cos(eks(2))*sin(eks(3))*dz)-q*(-
sin(eks(3))*cos(eks(4))*dx+sin(eks(2))*cos(eks(3))*cos(eks(4))*dy-
cos(eks(2))*cos(eks(3))*cos(eks(4))*dz));
A(1,3) = (-int(1))/q*(M(2,1)*dx+M(2,2)*dy+M(2,3)*dz);
A(1,4) = -(int(1)/q^2*(r*M(3,1)-q*M(1,1)));
A(1,5) = -(int(1)/q^2*(r*M(3,2)-q*M(1,2)));
A(1,6) = -(int(1)/q^2*(r*M(3,3)-q*M(1,3)));

A(2,1) = (int(1)/q^2)*(s*(-M(3,3)*dy+M(3,2)*dz)-q*(-
M(2,3)*dy+M(2,2)*dz));

```



```

A(2,2) =
(int(1)/q^2)*(s*(cos(eks(3))*dx+sin(eks(2))*sin(eks(3))*dy-
cos(eks(2))*sin(eks(3))*dz)-q*(sin(eks(3))*sin(eks(4))*dx-
sin(eks(2))*cos(eks(3))*sin(eks(4))*dy+cos(eks(2))*cos(eks(3))*sin
(eks(4))*dz));
A(2,3) = int(1)/q*(M(1,1)*dx+M(1,2)*dy+M(1,3)*dz);
A(2,4) = -(int(1)/q^2*(s*M(3,1)-q*M(2,1)));
A(2,5) = -(int(1)/q^2*(s*M(3,2)-q*M(2,2)));
A(2,6) = -(int(1)/q^2*(s*M(3,3)-q*M(2,3)));

```

## 5. List Code Fungsi "helmert\_transform.m"

```

function helmert = helmert_transform(p3)

np3 = size(p3,1);
G = zeros(3*np3,7);
for i=1:np3
    eq = (i-1)*3+1;
    G(eq,1) = 1.0;
    G(eq,5) = p3(i,4);
    G(eq,6) = -p3(i,3);
    G(eq,7) = p3(i,2);
    G(eq+1,2) = 1.0;
    G(eq+1,4) = -p3(i,4);
    G(eq+1,6) = p3(i,2);
    G(eq+1,7) = p3(i,3);
    G(eq+2,3) = 1.0;
    G(eq+2,4) = p3(i,3);
    G(eq+2,5) = -p3(i,2);
    G(eq+2,7) = p3(i,4);
end
helmert = G;

```

## 6. List Code Fungsi "linier\_additional\_param.m"

```

function coef_add = linier_additional_param(int,eks,p2,p3)

ncam = size(eks,1);
np2 = size(p2,1);
np3 = size(p3,1);

A = zeros(2*ncam*np3,10);
for i=1:ncam
    row = (i-1)*2*np3;
    for j=1:np3
        eqn = (j-1)*2+1;
        for k=1:np2
            if p2(k,1)==p3(j,1) && p2(k,2)==eks(i,1)

                xc = p2(j,3)-int(2);
                yc = p2(j,4)-int(3);
                r = sqrt(xc^2+yc^2);

                A(row+eqn,1) = -xc / int(1);
            end
        end
    end
end

```

```

A(row+eqn,2) = -1;
A(row+eqn,3) = 0;
A(row+eqn,4) = xc * r^2;
A(row+eqn,5) = xc * r^4;
A(row+eqn,6) = xc * r^6;
A(row+eqn,7) = 2*xc^2 + r^2;
A(row+eqn,8) = 2 * xc * yc;
A(row+eqn,9) = xc;
A(row+eqn,10) = yc;

A(row+eqn+1,1) = -yc / int(1);
A(row+eqn+1,2) = 0;
A(row+eqn+1,3) = -1;
A(row+eqn+1,4) = yc * r^2;
A(row+eqn+1,5) = yc * r^4;
A(row+eqn+1,6) = yc * r^6;
A(row+eqn+1,7) = 2 * xc * yc;
A(row+eqn+1,8) = (2 * yc^2 + r^2);
A(row+eqn+1,9) = 0;
A(row+eqn+1,10) = 0;

        end
    end
end

coef_add = A;

```

## 7. List Code Fungsi "*linier\_space\_intersection.m*"

```

function coef_intersect = linier_space_intersection(int,eks,p2,p3)

npnt3 = size(p3,1);
npnt2 = size(p2,1);
npho = size(eks,1);

param = 3;
neqn = 2*npnt3;
npar = 3*npnt3;

A = zeros(neqn,npar);
for i=1:npho %Loop for image parameters
    (omega,phi,kappa,XL,YL,ZL)
    row = (i-1)*2*npnt3;
    cam = eks(i,:);
    for j=1:npnt3 %Loop for 3D points parameters (Xj,Yj,Zj)
        eqn = (j-1)*2+1;
        col = (j-1)*3;
        for k=1:npnt2 %Loop for 2D points in each image
            if p2(k,1)==p3(j,1) && p2(k,2)==cam(1)
                cof = collinier_intersection(int,cam,p3(j,:));
                for l=1:param
                    A(eqn+row,col+l) = cof(1,l);
                    A(eqn+1+row,col+l) = cof(2,l);
                end
            end
        end
    end
end

```



```

        end
    end
end
coef_intersect = A;

```

## 8. List Code Fungsi “*linier\_space\_resect.m*”

```

function coef_resect = linier_space_resect(int,eks,p2,p3)

num3pnt = size(p3,1);
num2pnt = size(p2,1);
numpho = size(eks,1);

param = 6;
numeqn = 2*num3pnt;
numpar = param*numpho;

A = zeros(numeqn,numpar);
for i=1:numpho
    row = (i-1)*2*num3pnt;
    col = (i-1)*6;
    cam = eks(i,:);
    for j=1:num3pnt %Loop 3D point
        eqn = (j-1)*2+1;
        for k=1:num2pnt %Loop 2D point
            if p2(k,1)==p3(j,1) && p2(k,2)==cam(1)
                cof = collinier_resection(int,cam,p3(j,:));
                for l=1:param
                    A(eqn+row,col+l) = cof(1,l);
                    A(eqn+1+row,col+l) = cof(2,l);
                end %Loop for six parameters of resection
            end %Checking condition
        end %Loop for 2D point
    end %Loop for 3D point
end
coef_resect = A;

```

## 9. List Code Fungsi “*Matrik\_Normal\_SCBA.m*”

```

function [N,C] = Matrik_Normal_SCBA(int,eks,p2,p3)
%MATRIK_NORMAL_SCBA Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here
nphoto = size(eks,1);

A1 = linier_space_resect(int,eks,p2,p3);
A2 = linier_space_intersection(int,eks,p2,p3);
A3 = linier_additional_param(int,eks,p2,p3);
L = observation_matriks(int,eks,p2,p3);
G = helmert_transform(p3);
P = weight_matriks(eks,p2,p3);

N11 = A1'*P*A1;
N12 = A1'*P*A3;
N13 = A1'*P*A2;

```

```

N21 = A3'*P*A1;
N22 = A3'*P*A3;
N23 = A3'*P*A2;
N31 = A2'*P*A1;
N32 = A2'*P*A3;
N33 = A2'*P*A2;

L1 = A1'*P*L;
L2 = A3'*P*L;
L3 = A2'*P*L;

N = [N11,N12,N13,zeros(6*nphoto,7);
     N21,N22,N23,zeros(10,7);
     N31,N32,N33,G;
     zeros(7,6*nphoto),zeros(7,10),G',zeros(7,7)];

C = [L1;L2;L3;zeros(7,1)];

end

```

## 10. List Code Fungsi "*observation\_matriks.m*"

```

function observ = observation_matriks(int,eks,p2,p3)

pnt3 = size(p3,1);
pnt2 = size(p2,1);
pho = size(eks,1);

neqn = 2*pnt3*pho;
L = zeros(neqn,1);
for i=1:pho %Camera Parameters loop
    row = (i-1)*2*pnt3;
    cam = eks(i,:);
    for j=1:pnt3 %3D Point loop
        eqn = (j-1)*2+1;
        for k=1:pnt2 %2D Point loop
            if p2(k,1)==p3(j,1) && p2(k,2)==cam(1)
                cof =
collinier_observation(int,cam,p2(k,:),p3(j,:));
                L(eqn+row,1) = cof(1);
                L(eqn+1+row,1) = cof(2);
            end
        end %loop 2D point
    end
end
observ = L;

```

## 11. List Code Fungsi "*precision.m*"

```

function [eksterior,point3d] = precision(N,std,eks,p3)

np3 = size(p3,1);
npho = size(eks,1);
Ninv = pinv(N);

```

```

eqn = 6*np3+3*np3;
pr = zeros(eqn,1);
for i=1:eqn
    for j=1:eqn
        if i==j
            pr(i,1) = std*sqrt(Ninv(i,j));
        end
    end
end

% Menambahkan data nilai presisi kedalam data parameter eo
for ip=1:npho
    pre = (ip-1)*6;
    for ipr=1:6
        eks(ip,7+ipr)=pr(pre+ipr,1);
    end
end
eksterior=eks;

% Menambahkan data nilai presisi kedalam data parameter koordinat
obyek
for ip3=1:np3
    pr3 = (ip3-1)*3;
    for ppr=1:3
        p3(ip3,4+ppr) = pr(pr3+6*npho+ppr,1);
    end
end
point3d = p3;

```

## 12. List Code Fungsi "rotationmatriks.m"

```

function mrot = rotationmatriks(omega,phi,kappa)

mrot(1,1) = cos(phi)*cos(kappa);
mrot(1,2) = sin(omega)*sin(phi)*cos(kappa)+cos(omega)*sin(kappa);
mrot(1,3) = -cos(omega)*sin(phi)*cos(kappa)+sin(omega)*sin(kappa);

mrot(2,1) = -cos(phi)*sin(kappa);
mrot(2,2) = -sin(omega)*sin(phi)*sin(kappa)+cos(omega)*cos(kappa);
mrot(2,3) = cos(omega)*sin(phi)*sin(kappa)+sin(omega)*cos(kappa);

mrot(3,1) = sin(phi);
mrot(3,2) = -sin(omega)*cos(phi);
mrot(3,3) = cos(omega)*cos(phi);

```

## 13. List Code Fungsi "scba\_correction.m"

```

function [interior,eksterior,point3d] =
scba_correction(del,int,eks,p3)

ncam = size(eks,1);
npnt = size(p3,1);
ndel = length(del);
cam_par = 6;

```

```

pnt_par = 3;
calib_par = 10;

camcor = del(1:ncam*cam_par);
interior_correction = del(ncam*cam_par+1:ncam*cam_par+10);
pntcor = del(ncam*cam_par+11:ndel-7);

delcam = reshape(camcor, cam_par, ncam)';
delpnt = reshape(pntcor, pnt_par, npnt)';

% Proses koreksi nilai parameter eo
for i=1:ncam
    for j=2:cam_par+1
        eks(i,j)=eks(i,j)+delcam(i,j-1);
    end
end
eksterior = eks;

% Proses koreksi nilai parameter io
for p=1:calib_par;
    int(p)=int(p)+interior_correction(p);
end
interior = int;

% Proses koreksi nilai parameter koordinat obyek
for ii=1:npnt
    for jj=2:pnt_par+1
        p3(ii,jj) = p3(ii,jj)+delpnt(ii,jj-1);
    end
end
point3d = p3;

end

```

#### 14. List Code Fungsi “Self\_calibration.m”

```

function [interior,eksterior,point3d] =
Self_calibration(int,eks,p2,p3)
%SELF_CALIBRATION Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here
np3d = size(p3,1);
nphoto = size(eks,1);
convergen = 10;
for iter = 1:50
    [N,C] = Matrik_Normal_SCBA(int,eks,p2,p3);
    %[U,S,V] = svd(N);
    del = pinv(N)*C
    [int,eks,p3] = scba_correction(del,int,eks,p3);
    cor = sum(abs(del))
    if(cor<1.0e-5)
        break;
    else
        if(cor<convergen)
            convergen = cor;
        else

```

```

        break;
    end
end
end
%[U,S,V] = svd(N);
res = observation_matriks(int,eks,p2,p3);
std = sqrt((res'*res)/((2*np3d*nphoto)-(3*np3d+6*nphoto)));
[eks,p3] = precision(N,std,eks,p3);
interior = int; eksterior = eks; point3d = p3;

```

### 15. List Code Fungsi "weight\_matriks.m"

```

function w = weight_matriks(eks,p2,p3)

np2 = size(p2,1);
np3 = size(p3,1);
ncam = size(eks,1);
im = zeros(2*np3*ncam,1);
for i=1:size(eks,1)
    row = (i-1)*2*np3;
    for j=1:np3
        eqn = (j-1)*2+1;
        for n=1:np2
            if p2(n,1)==p3(j,1) && p2(n,2)==eks(i,1)
                im(eqn+row,1) = 1/p2(n,5)^2;
                im(eqn+row+1,1) = 1/p2(n,6)^2;
            end
        end
    end
end
end
w = diag(im);

```





17.11.1961

PERUSAHAAN  
MELAKSANA  
KEMERDEKAAN