

**PENGGUNAAN PARAMETER ORIENTASI EKSTERNAL (EO)  
UNTUK OPTIMALISASI DIGITAL TRIANGULASI FOTOGRAMETRI  
UNTUK KEPERLUAN ORTOFOTO**

Syarifa Naula Husna, Sawitri Subiyanto, Hani'ah<sup>\*)</sup>

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788  
Email : syarifanaula@gmail.com

**ABSTRAK**

Dalam pelaksanaan pemetaan fotogrametri udara dibutuhkan titik-titik yang diketahui dan memiliki referensi koordinat tanah lokasi dimana pengukuran dilaksanakan. Titik-titik ini disebut dengan *Ground Control Point* atau titik kontrol (Seker dan Duran, 2011). Namun selain hanya menggunakan GCP, pengolahan fotogrametri udara juga dapat dilakukan dengan menambahkan parameter orientasi eksternal (EO) hasil ekstraksi GNSS dan IMU yang terpasang pada kamera. EO ini berupa koordinat posisi *principal point* (X, Y, Z) dan rotasi (*omega, phi, kappa*) masing-masing foto udara. Penggunaan orientasi eksternal (EO) dalam menghasilkan ortofoto dapat meminimalisir kebutuhan *tie point* pada wilayah *overlap* foto udara (Ip dkk, 2007).

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah triangulasi udara digital dengan menambahkan parameter orientasi eksternal (EO) pada tiga sampel penelitian yang memiliki jumlah panjang basis yang berbeda untuk menghasilkan ortofoto. Sampel-sampel tersebut yakni foto udara dengan 8 basis, 4 basis, dan 2 basis. Seluruh pelaksanaan penelitian yang akan dilaksanakan menggunakan perangkat lunak Inpho Application Master.

Setelah ortofoto seluruh sampel terbentuk didapatkan nilai  $RMSE_x$  GCP untuk foto udara 8 basis sebesar 0,547 meter,  $RMSE_y$  0,670 meter dan  $RMSE_z$  1,162 meter. Kemudian untuk foto udara 4 basis dihasilkan  $RMSE_x$  sebesar 0,392 meter,  $RMSE_y$  0,573 meter dan  $RMSE_z$  0,527 meter. Sedangkan untuk foto udara 2 basis dihasilkan  $RMSE_x$  sebesar 0,137 meter,  $RMSE_y$  0,428 meter, dan  $RMSE_z$  0,377 meter. Untuk nilai ketelitian horizontal yang didapatkan adalah 0,617 meter skala 1:5000 pada foto udara 8 basis, 0,605 meter skala 1:5000 pada foto udara 4 basis, serta 0,477 meter skala 1:2500 pada foto udara 2 basis.

**Kata Kunci :** Fotogrametri, GCP, Orientasi Eksternal, Ortofoto, Triangulasi Udara.

**ABSTRACT**

*Aerial photogrammetry mapping needs points which are has been identified and have a ground reference coordinates of the location where the points was measured. Those points are called Ground Control Point (Seker and Duran, 2011). However, the aerial photogrammetry can be measured just by adding exterior orientation parameters which extracted from GNSS and IMU that applied on camera. EO is a data that consist six parameters in a two groups, first group named coordinates principal point (X, Y, Z), second group named camera's rotation (omega, phi, kappa). The use of exterior orientation parameters (EO) in producing orthophoto can minimize the needs of tie points in the overlap region of aerial photos (Ip et al, 2007).*

*This study is using digital aerial triangulation methodology by adding exterior orientation parameters (EO) on three samples which has different gap to produce orthophoto. The samples have three kinds of gaps which is 8 gaps, 4 gaps and 2 gaps. Overall implementation of the research are using Inpho Application Master software.*

*After all of orthophotos are formed,  $RMSE_x$  GCP values was obtained for 8 gaps aerial photos amounted to 0.547 meters long,  $RMSE_y$  amounted to 0.670 meters long and  $RMSE_z$  amounted to 1.162 meters long. Furthermore, 4 gaps aerial photos produced  $RMSE_x$  amounted to 0.392 meters,  $RMSE_y$  amounted to 0.573 meters and  $RMSE_z$  amounted to 0.527 meters. Last, 2 gaps aerial photos produced  $RMSE_x$  amounted to 0.137 meters,  $RMSE_y$  amounted to 0.428 meters and  $RMSE_z$  amounted to 0.377 meters. The horizontal accuracy value is 0.617 meter with scale 1: 5000 for 8 gaps aerial photos, 0.605 meter with scale 1: 5000 for 4 gaps aerial photos, and 0.477 meter with scale 1: 2500 for 2 gaps aerial photos.*

**Keywords :** Photogrammetry, GCP, Exterior orientation, Orthophoto, Aerial triangulation.

<sup>\*)</sup> Penulis, PenanggungJawab

## I. Pendahuluan

### I.1 Latar Belakang

Pekerjaan pengukuran terestris sedikit demi sedikit telah digantikan oleh pengamatan data yang direkam tanpa menyentuh objeknya. Pengamatan ini sering disebut teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*). Termasuk di dalamnya adalah pemotretan dari stasiun di atas tanah atau yang disebut dengan fotogrametri terestris maupun fotogrametri jarak dekat. Kemudian ada pula pemotretan dari pesawat yang diterbangkan yang disebut dengan fotogrametri udara, dan yang terakhir adalah penginderaan dengan menggunakan satelit (Rochmadi, 1993).

Fotogrametri merupakan metode survei dan pemetaan yang cukup efektif. Metode ini dapat memotret cakupan wilayah yang luas dari jarak dekat dan ketelitian yang besar hanya dalam waktu singkat. Peta foto yang dihasilkan juga dapat memiliki skala yang besar sehingga sangat cocok untuk dimanfaatkan dalam hal perencanaan.

Dalam pelaksanaan pemetaan fotogrametri dibutuhkan titik-titik yang diketahui dan memiliki referensi koordinat tanah lokasi dimana pengukuran dilaksanakan. Titik-titik ini disebut dengan *Ground Control Point* atau titik kontrol (Seker dan Duran, 2011). *Ground Control Point* (GCP) berfungsi sebagai titik sekutu yang menghubungkan antara sistem koordinat peta dan sistem koordinat foto (Harintaka, 2008 dalam Hendy G.j, 2014). Dari GCP inilah nantinya peta foto akan memiliki koordinat yang sesuai dan terikat dengan wilayah pengukuran tersebut. Pengukuran GCP biasanya menggunakan pengukuran terestris dan harus terikat dengan *base station* yang digunakan sebagai *premark* pada saat pesawat melakukan pemotretan udara.

Pengolahan pada tahap triangulasi udara juga dapat dilakukan dengan menambahkan parameter orientasi eksternal (EO) disamping hanya menggunakan GCP. Metode ini disebut dengan istilah *integrated sensor orientation* (Jacobsen, 2004). EO adalah orientasi kamera dalam ruang yang terdiri dari enam parameter yang menggambarkan posisi sistem koordinat dari kamera (Aulejtner, 2011 dalam Hendy G.j, 2014). Parameter EO ini berupa koordinat posisi *principal point* ( $X, Y, Z$ ) dan rotasi ( $\omega, \phi, \kappa$ ) yang dihasilkan oleh GNSS (*Global Navigation Satellite System*) dan IMU (*Inertial Measurement Unit*) yang terpasang pada kamera saat melakukan pemotretan.

*Integrated sensor orientation (ISO)* bekerja dengan menggabungkan manfaat dari parameter orientasi eksternal (EO) hasil GNSS serta IMU dengan proses triangulasi udara pada serangkaian foto udara yang memiliki nilai *overlap* yang cukup. Dengan menggunakan orientasi eksternal ini maka

*tie point* yang dibutuhkan pada wilayah *overlap* dapat diminimalisir (Ip dkk, 2007).

Parameter orientasi eksternal tetap akan kurang optimal apabila tidak menggunakan titik *ground control point* (GCP). Karena tanpa adanya titik koordinat tanah memungkinkan munculnya nilai parallax dimana nilai inilah yang harus dihindari apabila ingin melakukan proses *stereoplotting* foto udara (Rizaldy dan Wildan, 2012).

Apabila fungsi titik-titik GCP yang digunakan pada metode triangulasi udara tanpa memasukan orientasi eksternal (EO) adalah untuk mengikat koordinat foto dan koordinat tanah, GCP pada metode ISO ini hanya akan digunakan untuk memeriksa pergeseran datum dan dapat memperbaiki kesalahan residual sistematis yang dihasilkan oleh koordinat orientasi eksternal (Ip dkk, 2007).

Dari pembahasan tersebut diatas, maka dari itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui seberapa besar ketelitian koordinat ortofoto yang dihasilkan dengan menambahkan parameter EO pada proses triangulasi udara. Penelitian ini akan dilaksanakan pada data foto udara format medium di kawasan tugu muda sampai simpang lima Kota Semarang.

### I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana ketelitian ortofoto yang dihasilkan dalam proses triangulasi udara digital yang menggunakan parameter EO?
2. Berapa skala peta foto yang dapat terpenuhi dari proses triangulasi udara digital yang menggunakan parameter EO?

### I.3 Manfaat dan Tujuan Penelitian

Diharapkan penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi dalam pengolahan foto udara, khususnya pada pengolahan triangulasi udara dan ortofoto. Sehingga akan didapatkan ketelitian koordinat yang baik dalam pengolahannya. Selain itu, diharapkan juga agar penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang lebih baik bagi para pembaca tentang seluk beluk fotogrametri udara.

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui nilai ketelitian ortofoto yang dihasilkan dalam proses triangulasi udara digital yang menggunakan parameter EO.
2. Mengetahui skala peta foto yang dapat terpenuhi dari proses triangulasi udara digital yang menggunakan parameter EO.

#### I.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Foto udara yang digunakan adalah foto format medium kawasan tugu muda sampai simpang lima Kota Semarang yang diperoleh dari PT. Karvak Nusa Geomatika sebagai pelaksana pemotretan sejumlah 27 foto dengan luas  $\pm 600$  Ha. Foto tersebut akan dibagi menjadi tiga *sample* penelitian, yakni foto udara 8 basis, foto udara 4 basis, dan foto udara 2 basis.
2. Data titik-titik GCP dan ICP yang digunakan adalah data yang dihasilkan melalui pengukuran terestris menggunakan alat ukur GPS geodetik dan telah diolah menggunakan perangkat lunak TopconTools.
3. Data parameter orientasi eksternal yang telah diolah menggunakan perangkat lunak POSPac.
4. Pengolahan foto udara yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini adalah triangulasi udara digital dan ortofoto.

## II. Tinjauan Pustaka

### II.1 Ground Control Point

*Ground Control Point* (GCP) atau yang biasa disebut dengan titik kontrol adalah titik-titik yang berada di lapangan yang dapat digunakan untuk mentransformasikan sistem koordinat udara dengan sistem koordinat tanah suatu objek yang dipetakan. Titik kontrol ini nantinya akan digunakan pada saat pengolahan foto udara tahap triangulasi udara (Hasyim, 2009). Disamping titik GCP, adapula titik-titik yang disebut dengan ICP (*Independent Check Point*) yakni titik yang digunakan untuk menguji kualitas hasil dan tidak diikuti pada proses pengolahan foto udara.

Selain fungsi utama tersebut, GCP juga berfungsi sebagai (aerogeosurvey.com, 2016) :

1. Faktor penentu ketelitian geometris hasil olah foto (misalnya ortofoto, DSM, DTM). Semakin teliti GCP maka akan semakin baik pula ketelitian geometris hasil dari pengolahan foto udara tersebut.
2. Mempermudah proses orientasi relatif antar foto.
3. Mengkoreksi hasil olah foto udara yang berupa *ball effect* (kesalahan yang mengakibatkan model 3D akan berbentuk cembung di tengah area yang di ukur).
4. Menyatukan hasil olah data yang terpisah dengan lebih cepat dan lebih efektif.

Pengukuran titik-titik GCP dan ICP dapat dilaksanakan dengan metode pengukuran satelit GPS (*Global Positioning System*). Pengukuran ini umumnya terbagi menjadi dua jenis baik secara absolut (satu *receiver* GPS) ataupun differensial (dua *receiver* GPS), yaitu (Abidin, 2006) :

1. Pengukuran GPS Statik. Pengukuran metode ini dilakukan pada beberapa *epoch* pengamatan. Menggunakan *receiver* jenis geodetik atau *mapping* yang diam di satu titik dan objek titik lainnya juga dalam keadaan diam.
2. Pengukuran GPS *Real Time Kinematic* (RTK). Pengukuran metode ini dilakukan pada titik-titik yang bergerak, cukup hanya dengan interval data yang pendek, dan hasil pengamatannya dapat diperoleh pada saat pengamatan (*real time*).

### II.2 Orientasi Eksternal (EO)

Orientasi Eksternal (EO) adalah orientasi kamera dalam ruang yang terdiri dari enam parameter yang menggambarkan posisi sistem koordinat dari kamera yang digunakan untuk pemotretan udara (Aulejtner, 2011). Parameter-parameter itu yakni koordinat posisi *principal point* (X, Y, Z) dan rotasi (*omega*, *phi*, *kappa*) dari titik pusat foto (Rizaldy dan Wildan, 2012). Adanya parameter rotasi kamera untuk setiap foto yang dihasilkan disebabkan oleh ketidaksempurnaan posisi terbang pesawat pada saat pemotretan.

Berikut parameter rotasi yang terjadi akibat pergerakan pesawat (Indra, 2012 dalam Aristia, 2014) :

1. Parameter *omega* ( $\omega$ ). Parameter ini bertujuan untuk mengkoreksi gerakan *roll* pada pesawat yang menyebabkan foto berotasi terhadap sumbu X.
2. Parameter *phi* ( $\phi$ ). Parameter ini bertujuan untuk mengkoreksi gerakan *pitch* pada pesawat yang menyebabkan foto berotasi terhadap sumbu Y.
3. Parameter *kappa* ( $\kappa$ ). Parameter ini bertujuan untuk mengkoreksi gerakan *yaw* pada pesawat yang menyebabkan foto berotasi terhadap sumbu Z.

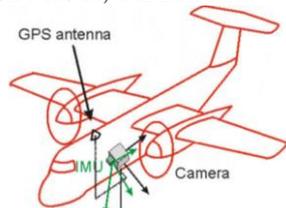
Seiring perkembangan teknologi, terdapat dua teknik pendekatan dasar untuk menentukan parameter EO, yaitu (Ip dkk, 2007) :

1. *Indirectly by Aerial Triangulation*  
Teknik ini dilakukan apabila foto udara telah melalui proses triangulasi udara. Penentuan orientasi ini bertujuan untuk menentukan parameter yang berkaitan dengan sistem koordinat foto dan ruang obyek dimana membutuhkan sebaran titik-titik kontrol (GCP) secara proporsional pada daerah pengamatan. Pelaksanaannya mirip dengan prinsip metode pemotongan kemuka (Prasetyo.Y, 2007 dalam Nugroho, 2009).
2. *Direct Georeferencing*  
Teknologi GNSS dan IMU yang terpasang pada kamera saat diterbangkan juga dapat

menghasilkan enam parameter orientasi eksternal. GNSS yang umumnya disebut juga dengan pengamatan GPS ini menggunakan metode pengamatan relatif kinematik atau diferensial kinematik (Jacobsen, 2004). Pengamatan ini menggunakan minimal dua buah *receiver* yang salah satunya berupa titik yang harus diketahui koordinat tiga dimensinya dan pengamat (*rover*) dalam keadaan bergerak (Abidin, 2006).

Sedangkan IMU atau *Inertial Measurement Unit* diintegrasikan dengan GPS pada pemotretan udara dan memiliki dua sensor, yakni gyroskop dan akselerometer. Sensor gyro digunakan untuk mengukur kecepatan putar sudut *roll* (guling), kecepatan putar sudut *pitch* (angguk) dan kecepatan putar sudut yaw (geleng). Kecepatan putaran adalah perubahan sudut terhadap waktu. Sedangkan akselerometer digunakan untuk mengukur percepatan sebuah benda yang bergerak, seperti pesawat terbang atau UAV yang sedang bergerak dengan percepatan tertentu.

Pengolahan raw data dari GNSS dan IMU untuk menghasilkan parameter orientasi eksternal ini umumnya menggunakan metode *postprocessing* pada beberapa perangkat lunak, misalnya IGI AEROoffice, POSPac, Application Master, dan lain lain.



Gambar II.1 Hubungan antara kamera, GPS, dan IMU (Jacobsen, 2004)

### II.3 Triangulasi Udara

Triangulasi udara merupakan metode penentuan titik kontrol dengan cara melakukan pengukuran koordinat foto atau koordinat model yang selanjutnya diproses dengan perhitungan perataan, sehingga dapat diperoleh koordinat maupun elevasi tanah dengan ketelitian yang memenuhi persyaratan teknik untuk keperluan pemetaan fotogrametri (Rokhim, 2014).

Berdasarkan data koordinat yang diukur, maka triangulasi udara dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu :

- 1) *Aeropoligon*, yaitu dengan data input berupa koordinat strip
- 2) *Independent Model Triangulation*, yaitu dengan data input berupa koordinat model
- 3) *Bundle Adjustment*, yaitu dengan data input berupa koordinat foto. Dalam metode perataan

ini berasal dari potongan atau blok fotografi dengan sekurang-kurangnya 60% *overlap* dan 20% *sidelap*. Definisi dari prinsip penyesuaian kuadrat terkecil adalah bundel-bundel sinar ditempatkan dan diputar sedemikian rupa sehingga bundle-bundle tumpang tindih satu sama lain sebaik-baiknya pada titik-titik yang bertalian dan menerobos titik-titik kontrol sedekat mungkin (Subiyanto, 2007).

### II.4 Ortofoto

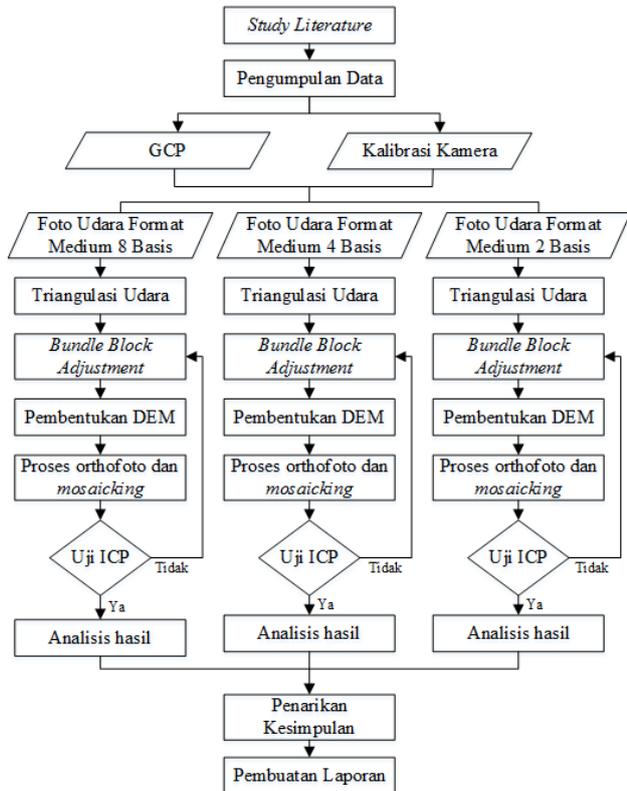
Ortofoto adalah reproduksi foto yang telah dikoreksi pada kesalahan oleh kemiringan pesawat, relief, serta distorsi lensa. Ortofoto dibentuk berdasarkan foto stereomodel, yaitu pembuatannya model demi model, dengan proses rektifikasi diferensial sehingga gambaran obyek pada foto tersebut posisinya benar sesuai dengan proyeksi orthogonal (Subiyanto, 2007).

Rektifikasi diferensial adalah proses peniadaan pergeseran letak gambar oleh kesendengan fotografik dan relief. Tujuan rektifikasi adalah menghapus efek kesendengan sumbu dan menghasilkan ekuivalen foto tegak. Ortofoto berbeda dengan foto yang direktifikasi, karena dalam rektifikasi hanya kesalahan oleh kemiringan pesawat saja yang dikoreksi. Dalam rektifikasi diferensial dilakukan pemotretan kembali atas foto aslinya. Pada ortofoto tidak terdapat lagi pergeseran letak oleh relief serta tidak terdapat paralaks sehingga tidak mungkin dilakukan pengamatan stereoskopik (Paine, 1981 dalam Wanfebrianta, 2009).

## III. Metodologi dan Data Penelitian

### III.1 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penambahan parameter orientasi eksternal (EO) hasil *direct georeferencing* pada triangulasi udara digital untuk membentuk ortofoto. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar II.2 Diagram Alir Penelitian

III.2 Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Data kalibrasi kamera metrik digital dengan sensor CCD D8900.
2. Tiga *sample* penelitian dari total keseluruhan 27 foto udara format medium seluas 600 Ha di kawasan tugu muda sampai simpang lima Kota Semarang. Tiga sampel tersebut adalah foto udara yang memiliki jumlah 8 basis (PB) dengan total 27 foto udara, 4 basis (PB) dengan total 15 foto udara, dan 2 basis (PB) dengan total 9 foto udara.
3. Titik GCP sebanyak 12 buah hasil pengukuran terestris menggunakan alat ukur GPS geodetik.
4. Titik ICP sebanyak 4 buah untuk validasi data yang diukur menggunakan GPS geodetik.
5. Sistem proyeksi UTM 49S.

V. Hasil dan Pembahasan

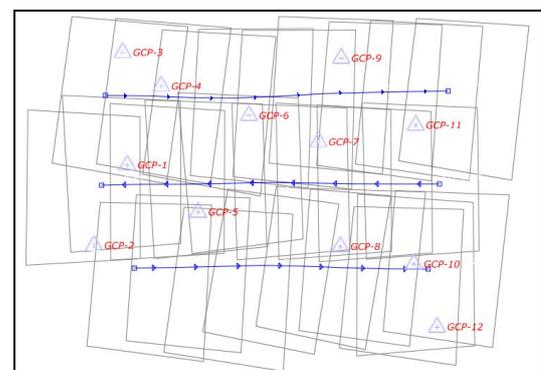
IV.1 Persebaran GCP

Pengolahan foto udara ini menggunakan 12 titik kontrol (GCP) yang diukur secara langsung di lapangan. Pengukuran GCP dilakukan menggunakan GPS geodetik dan diikatkan pada BM N10259 di kawasan Tugu Muda kota Semarang Orde 1 Badan Informasi Geospasial (BIG) dengan maksimal RMS 0,05 meter.

Pada saat pengolahan, standar acuan yang digunakan adalah setiap GCP harus mengikat atau berada pada minimal dua buah foto udara. Sehingga GCP yang tidak memenuhi syarat akan secara otomatis dinonaktifkan. Berikut tabel persebaran titik kontrol yang digunakan oleh setiap sampel penelitian.

Tabel IV.1 Persebaran GCP pada Foto Udara 8 Basis

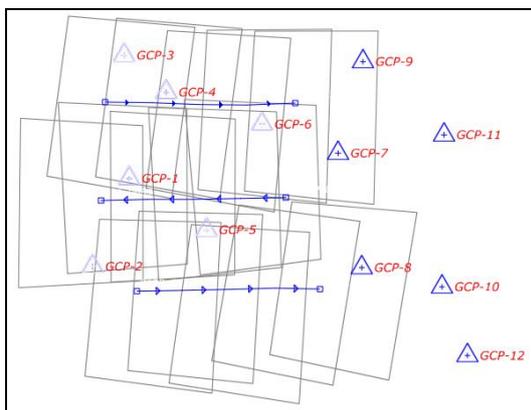
No.	Titik Kontrol (GCP)	ID Foto
1	GCP-1	R10_0762, R10_0763, R11_0683, R11_0684, R11_0685
2	GCP-2	R11_0684, R11_0685
3	GCP-3	R10_0762, R10_0763
4	GCP-4	R10_0762, R10_0763, R10_764
5	GCP-5	R11_0681, R11_0682, R11_0683, R12R_0178, R12R_0179, R12R_0180
6	GCP-6	R10_0764, R10_0765, R10_766, R11_0680, R11_0681, R11_0682
7	GCP-7	R10_0766, R10_0767, R10_768, R11_0678, R11_0679, R11_0680
8	GCP-8	R11_0678, R11_0679, R11_0680, R12R_0182, R12R_0183
9	GCP-9	R10_0766, R10_0767, R10_768
10	GCP-10	R12R_0183, R12R_0184, R12R_0185
11	GCP-11	R10_0768, R10_0769, R10_770, R11_0677, R11_0678
12	GCP-12	R12R_0184, R12R_0185, R12R_0376



Gambar IV.1 Persebaran GCP pada Foto Udara 8 Basis

**Tabel IV.2** Persebaran GCP pada Foto Udara 4 Basis

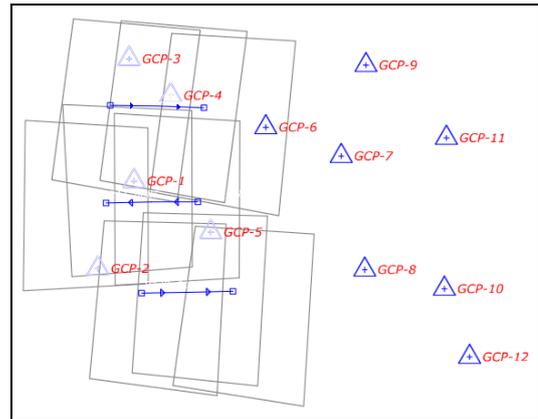
No.	Titik Kontrol (GCP)	ID Foto
1	GCP-1	R10_0762, R10_0763, R11_0683, R11_0684, R11_0685
2	GCP-2	R11_0684, R11_0685
3	GCP-3	R10_0762, R10_0763
4	GCP-4	R10_0762, R10_0763, R10_764
5	GCP-5	R11_0681, R11_0682, R11_0683, R12R_0178, R12R_0179, R12R_0180
6	GCP-6	R10_0764, R10_0765, R10_766, R11_0681, R11_0682



**Gambar IV.2** Persebaran GCP pada Foto Udara 4 Basis

**Tabel IV.3** Persebaran GCP pada Foto Udara 2 Basis

No.	Titik Kontrol (GCP)	ID Foto
1	GCP-1	R10_0762, R10_0763, R11_0683, R11_0684, R11_0685
2	GCP-2	R11_0684, R11_0685
3	GCP-3	R10_0762, R10_0763
4	GCP-4	R10_0762, R10_0763, R10_764
5	GCP-5	R11_0683, R12R_0178, R12R_0179, R12R_0180



**Gambar IV.3** Persebaran GCP pada Foto Udara 2 Basis

**IV.2 Nilai RMSE GCP**

Root Mean Square Error (RMSE) dari titik-titik GCP untuk suatu pengolahan fotogrametri adalah nilai yang sangat penting karena menunjukkan seberapa teliti pengolahan yang telah dilaksanakan. Nilai RMSE ini ditunjukkan dalam satuan meter.

Sebelum ditentukan nilai RMSE, suatu pengolahan memiliki nilai residual pada masing-masing titik kontrol (GCP) dan tie point. Nilai residual adalah selisih dari nilai koordinat pengamatan dan hasil perataannya. Nilai residual tidak hanya merefleksikan kesalahan dalam titik titik kontrol (GCP) dan tie point, tetapi juga digunakan untuk mempertimbangkan kualitas dari model matematika.

Dengan kata lain, residual tidak hanya memperlihatkan kesalahan pada titik mana yang butuh dikoreksi melainkan dapat juga mengindikasikan titik-titik mana yang buruk dan mengetahui apakah hasil pengolahan telah sesuai dengan sistem titik kontrol tanah atau belum.

Dalam pengolahan fotogrametri digital, data residual maupun RMSE disajikan dalam log file setelah melakukan tahap adjustment. Berikut nilai residual dan RMSE hasil pengolahan yang dilaksanakan dalam satuan meter.

**Tabel IV.4** Hasil Residu GCP pada Foto Udara 8 Basis

No.	Titik Kontrol (GCP)	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	GCP-1	-0,229	-0,423	0,305
2	GCP-2	-0,860	-0,326	1,643
3	GCP-3	-0,759	0,286	0,777
4	GCP-4	-0,077	0,934	0,440
5	GCP-5	0,039	-0,733	0,867
6	GCP-6	0,165	0,318	-0,296
7	GCP-7	0,240	0,395	-0,683

8	GCP-8	0,641	-0,504	0,980
9	GCP-9	-0,739	1,086	0,858
10	GCP-10	0,871	-0,081	-1,630
11	GCP-11	0,635	0,378	-2,538
12	GCP-12	0,074	-1,331	-0,723

Tabel IV.5 Hasil Residu GCP pada Foto Udara 4 Basis

No.	Titik Kontrol (GCP)	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	GCP-1	0,032	-0,502	-0,665
2	GCP-2	-0,726	-0,430	0,975
3	GCP-3	-0,280	0,189	0,201
4	GCP-4	0,328	0,993	-0,292
5	GCP-5	0,309	-0,616	0,138
6	GCP-6	0,337	0,366	-0,356

Tabel IV.6 Hasil Residu GCP pada Foto Udara 2 Basis

No.	Titik Kontrol (GCP)	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	GCP-1	0,226	-0,287	-0,408
2	GCP-2	-0,082	-0,205	0,530
3	GCP-3	-0,096	0,150	0,042
4	GCP-4	0,090	0,767	-0,435
5	GCP-5	-0,138	-0,425	0,271

Tabel IV.7 Hasil Nilai RMSE GCP

Koordinat	Foto Udara 8 Basis (m)	Foto Udara 4 Basis (m)	Foto Udara 2 Basis (m)
X	0,547	0,392	0,137
Y	0,670	0,573	0,428
Z	1,162	0,527	0,377

### IV.3 Hasil Sigma Naught

Nilai *sigma naught* yang dihasilkan dari proses *bundle block adjustment* pada perangkat lunak Inpho Application Master ditunjukkan dalam *report file* yang dihasilkan. Nilai ini memiliki satuan micron dan pixel. Berikut nilai *sigma naught* masing-masing sampel.

Tabel IV.8 Hasil Sigma Naught

No.	Nama Sampel	Sigma Naught (micron)
1.	Foto Udara 8 Basis	3,9
2.	Foto Udara 4 Basis	3,2
3.	Foto Udara 2 Basis	2,7

Hasil nilai *sigma naught* ini menunjukkan bahwa pengolahan foto udara untuk sampel 2 basis

merupakan pengolahan yang terbaik. Hal ini diasumsikan karena nilai *sigma naught* merupakan suatu nilai yang menyatakan tingkat akurasi keseluruhan pengolahan.

Berdasarkan hasil *adjustment* ini, terlihat bahwa pengolahan yang memiliki jumlah panjang basis paling rendah dan jumlah GCP paling sedikit memiliki kesalahan sistematis yang lebih kecil daripada yang lain. Sehingga untuk pekerjaan fotogrametri digital yang menggunakan orientasi eksternal *direct georeferencing* atau metode *Integrated Sensor Orientation (ISO)* dapat meminimalisir penggunaan GCP yang dibutuhkan.

### IV.4 Nilai Koordinat ICP

Untuk mengetahui tingkat ketelitian pengolahan, dapat juga dilaksanakan dengan pengamatan *Independent Check Point (ICP)* yang tersebar. Titik-titik ini sebelumnya tidak diikutsertakan dalam pengolahan triangulasi udara. Titik ICP yang digunakan berjumlah sebanyak empat titik yang diukur di lapangan menggunakan GPS Geodetik dan diikatkan pula pada BM N01259 Orde 1 Badan Informasi Geospasial (BIG).

Berikut ini adalah tabel hasil validasi lapangan titik ICP yang telah dihitung berdasarkan rumus dan ketentuan ketelitian geometrik peta RBI yang tertuang dalam Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014 untuk jenis peta dasar foto udara :

Tabel IV.9 Nilai Residual dan RMSE ICP pada Foto Udara 8 Basis

Nama	dX (m)	dY (m)	$dX^2 + dY^2$ (m)
ICP_1	0,334	-0,301	0,202
ICP_2	0,464	-0,052	0,218
ICP_3	0,066	0,193	0,042
ICP_4	0,261	0,363	0,200
<b>Jumlah</b>			0,662
<b>Rata-rata</b>			0,165
<b>RMSE</b>			0,407
<b>Akurasi CE90</b>			0,617

Tabel IV.10 Nilai Residual dan RMSE ICP pada Foto Udara 4 Basis

Nama	dX (m)	dY (m)	$dX^2 + dY^2$ (m)
ICP_1	-0,118	-0,154	0,038
ICP_2	0,017	0,097	0,010
ICP_3	-0,384	0,339	0,262
ICP_4	0,568	0,058	0,326
<b>Jumlah</b>			0,636
<b>Rata-rata</b>			0,159
<b>RMSE</b>			0,399
<b>Akurasi CE90</b>			0,605

**Tabel IV.11** Nilai Residual dan RMSE ICP pada Foto Udara 2 Basis

Nama	dX (m)	dY (m)	$\sqrt{dX^2 + dY^2}$ (m)
ICP_1	0,180	-0,001	0,032
ICP_2	0,163	0,096	0,036
ICP_3	-0,235	0,195	0,093
ICP_4	0,419	-0,241	0,234
<b>Jumlah</b>			0,395
<b>Rata-rata</b>			0,099
<b>RMSE</b>			0,314
<b>Akurasi CE90</b>			0,477

Berdasarkan dari tabel-tabel tersebut di atas, ditunjukkan bahwa pengolahan foto udara pada sampel 2 basis merupakan pengamatan yang terbaik.

Kemudian berdasarkan persamaan perhitungan akurasi horisontal CE90, skala peta yang dapat terpenuhi oleh pengolahan foto udara masing-masing sampel juga dapat diketahui. Diasumsikan bahwa peta RBI untuk jenis peta dasar foto udara merupakan golongan kelas satu mengingat bahwa foto udara memiliki keunggulan ketelitian geometrik jika dibandingkan dengan citra satelit atau yang lainnya. Berikut perhitungannya :

- a. Foto udara 8 basis. Foto ini dapat memenuhi skala peta RBI 1:5000 dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Ketelitian CE90} = 0,2 \times \text{Skala}$$

$$\text{Skala} = \frac{0,617}{0,2} \times 1000$$

$$\text{Skala} = 3086$$

- b. Foto udara 4 basis. Foto ini dapat memenuhi skala peta RBI 1:5000 dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Ketelitian CE90} = 0,2 \times \text{Skala}$$

$$\text{Skala} = \frac{0,605}{0,2} \times 1000$$

$$\text{Skala} = 3025$$

- c. Foto udara 2 basis. Foto ini dapat memenuhi skala peta RBI 1:2500 dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Ketelitian CE90} = 0,2 \times \text{Skala}$$

$$\text{Skala} = \frac{0,477}{0,2} \times 1000$$

$$\text{Skala} = 2385$$

#### IV.5 Uji Statistika

Hasil dari pengolahan *adjustment* ketiga sampel penelitian yang berupa data dalam *file report* juga berisi nilai standar deviasi masing-masing sampel penelitian untuk koordinat titik kontrolnya. Dari nilai standar deviasi inilah selanjutnya akan diperoleh nilai varian yang dapat digunakan untuk melakukan uji signifikansi dari pengaruh ketiga sampel penelitian tersebut. Hal ini dimaksudkan agar diketahui apakah perbedaan nilai masing-masing sampel merupakan suatu perbedaan yang nyata atau tidak. Metode yang digunakan adalah metode uji antar varian (Uji F). Sedangkan untuk pengambilan kesimpulan,  $H_0$  ditolak jika  $F > F_{\alpha}$ .

**Tabel IV.12** Hasil Uji Signifikansi 8 Basis dan 4 Basis

Koordinat	F 8 dan 4 Basis	F tabel
X	0,783	2,265
Y	0,780	
Z	0,831	

**Tabel IV.13** Hasil Uji Signifikansi 8 Basis dan 2 Basis

Koordinat	F 8 dan 4 Basis	F tabel
X	0,857	2,880
Y	0,853	
Z	0,823	

**Tabel IV.14** Hasil Uji Signifikansi 4 Basis dan 2 Basis

Koordinat	F 8 dan 4 Basis	F tabel
X	1,095	3,006
Y	1,094	
Z	0,990	

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa ketiga sampel dengan masing-masing koordinat memiliki nilai F hasil perhitungan menggunakan rumus sesuai tabel II.6 yang lebih kecil daripada F tabel ( $F_{\alpha}$ ) untuk angka kepercayaan 5%. Dengan demikian, ada perbedaan yang memberi pengaruh signifikan pada penelitian yang dilaksanakan diantara masing-masing sampel tersebut yang terbagi berdasarkan jumlah basis yang dimilikinya.

**V. Kesimpulan dan Saran**

**VI. Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengolahan triangulasi udara menggunakan data parameter orientasi eksternal (EO) yang diekstraksi dari GNSS dan IMU pada saat pemotretan menghasilkan nilai RMSE GCP yang berbeda untuk setiap sampel penelitian. Pada foto udara yang memiliki jumlah 8 basis dihasilkan RMSE GCP sebesar 0,547 meter pada sumbu X, 0,670 meter pada sumbu Y, dan 1,162 meter pada sumbu Z. Kemudian untuk foto udara yang berjumlah 4 basis dihasilkan RMSE GCP sebesar 0,392 meter pada sumbu X, 0,573 meter pada sumbu Y, dan 0,527 meter pada sumbu Z. Yang terakhir untuk foto udara yang berjumlah 2 basis dihasilkan RMSE GCP sebesar 0,137 meter pada sumbu X, 0,428 meter pada sumbu Y, dan 0,377 meter pada sumbu Z.
2. Dari hasil ortofoto masing-masing sampel penelitian didapatkan nilai ketelitian horisontal 0,617 meter pada foto udara 8 basis, 0,605 meter pada foto udara 4 basis, serta 0,477 meter pada foto udara 2 basis.
3. Skala peta yang dapat dipenuhi oleh sampel penelitian foto udara 8 basis dan foto udara 4 basis adalah 1:5000, sedangkan untuk foto udara 2 basis dapat memenuhi skala peta hingga 1:2500.
4. Pengolahan fotogrametri digital menggunakan orientasi eksternal *direct georeferencing* atau metode *Integrated Sensor Orientation* (ISO) yang memiliki jumlah panjang basis paling rendah dan jumlah GCP paling sedikit akan memiliki kesalahan sistematis yang lebih kecil.

**V.2 Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Dalam memilih data foto udara yang akan diolah menjadi peta RBI sebaiknya menggunakan foto udara yang memiliki nilai parameter rotasi kamera yang baik yang ditunjukkan pada orientasi eksternal hasil IMU yang terpasang pada saat pemotretan.
2. Pengukuran GCP dan ICP sebaiknya menggunakan premark dan berada pada lokasi yang mudah diinterpretasi dari udara agar lebih mudah pada saat melakukan pengamatan GCP maupun validasi titik-titik ICP.
3. Dalam melakukan metode *automatic tie point*, sebaiknya *tie point* yang dihasilkan tetap dilakukan pengecekan ulang terhadap nilai

residualnya agar *tie point* yang memiliki nilai residual tinggi dapat diminimalisir dan nantinya akan didapatkan ketelitian pengolahan yang baik.

4. Proses triangulasi udara dan pembentukan ortofoto dari foto udara kamera digital yang menggunakan data parameter orientasi eksternal dapat dicoba dengan perangkat lunak yang lainnya asalkan tetap memperhatikan setiap aturan dan metode *default* yang dimiliki oleh masing-masing perangkat lunak.

**DAFTAR PUSTAKA**

Abidin, Hasanuddin Z. 2000. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta : Pradnya Pramita.

Aulejtner, M. 2011. *Thesis : Investigation on methods for making detailed digital models ofsculptures and other artefacts*. Norwegia : Norwegian University of Science and Technology.

Hendy G.j, I Nyoman. 2014. *Skripsi :Pembuatan Model Tiga Dimensi Candi Gebang Menggunakan Metode Fotogrametri Jarak Dekat*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.

Ip, Alain dkk. 2007. *Performance Analysis of Integrated Sensor Orientation*. Kanada : Photogrametric Engineering & Remote Sensing Vol. 73 Nomor 1.

Jacobsen, Karsten. 2004. *Direct/ Integrated Sensor Orientation – Pros and Cons*. Invited Paper ISPRS.

Nugroho, Dwi Setyo, dkk. 2009. *Laporan Praktikum Fotogrametri Digital*. Semarang : Universitas Diponegoro.

Rizaldi, Aldino, & Wildan, Firdaus. 2012. *Direct Georeferencing : a New Standard in Photogrammetry for High Accuracy Mapping*. Australia : International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences volume XXXIX-B1.

Rochmadi, Sunar. 1993. *Perkembangan Teknologi Pemetaan dan Kaitannya dengan Pendidikan*. Cakrawala Pendidikan Nomor 1 Tahun XII.

Subiyanto, Sawitri. 2007. *Konsep Dasar Pemetaan Fotogrametri*. Semarang : Universitas Diponegoro.

**Pustaka dari situs internet:**

Hasyim, Abdul Wahid. 2009. *Menentukan Titik Kontrol Tanah (GCP) dengan Menggunakan Teknik GPS dan Citra Satelit untuk Perencanaan Perkotaan*. <https://awhasyim.wordpress.com/2009/05/10/85/>. Diakses pada 18 Mei 2016.

- Rokhim, Wahyu Nur. 2014. *Triangulasi Udara*.  
<http://geospasial.net/2014/03/triangulasi-udara/>.  
Diakses pada 08 April 2016.
- Wanfebrianta, Willy. 2009. *Konsep Orthofoto Digital*.<https://karamoy.wordpress.com/2009/05/18/konsep-orthofoto-digital/>.  
Diakses pada 08 April 2016.