

**KAJIAN PENGARUH SEBARAN GCP DALAM PEMBUATAN PETA BIDANG  
MENGUNAKAN DATA PEMOTRETAN KAMERA NON-METRIK DENGAN WAHANA  
PESAWAT *FIXEDWING***

(Studi Kasus : Desa Gading Kulon, Kecamatan Dau, Kabupaten Malang, Jawa Timur)

Setianingsih, M. Edwin Tjahyadi, ST., M.Geom., Sc.Ph.D, Ir. Leo Pantimena, MSc  
Program Studi Teknik Geodesi S1  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang  
Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Malang

Indonesia merupakan negara dengan wilayah paling luas se-Asia Tenggara. Seluruh wilayah Indonesia tersebut perlu dilakukan pemetaan yang bertujuan untuk menjamin kepastian hukum di bidang pertanahan (kadaster). Penggunaan teknologi Wahana Udara Tanpa Awak (WUTA) atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) adalah pilihan yang efisien untuk memenuhi kebutuhan tersebut sepanjang ketelitian yang dihasilkan memenuhi ketentuan yang disyaratkan (Rokhmana, 2010). Oleh karena itu, dibutuhkan kajian tentang pengaruh sebaran *Ground Control Point* (GCP) terhadap ketelitian objek dari data hasil pemotretan UAV dalam pembuatan peta bidang sesuai dengan standar planimetrik Badan Pertanahan Nasional (BPN).

Proses pengolahan data foto udara dilakukan menggunakan *Software PCI Geomatica 2012* melalui proses orthorektifikasi 4, 6, dan 9 titik GCP mengelompok dan menyebar. Masing-masing jumlah dan sebaran GCP dilakukan menggunakan sistem koordinat UTM dan TM3. Kajian ketelitian titik dihitung menggunakan RMSE berdasarkan standarisasi BPN dan BIG. Kajian ketelitian jarak dan luas dilakukan dengan membandingkan pengukuran pita ukur di lapangan dengan hasil proses orthorektifikasi dan dihitung menggunakan RMSE berdasarkan standarisasi BPN.

Ketelitian titik horizontal terbaik yang diperoleh dari penelitian ini 0.194m sehingga dapat digunakan untuk pembuatan peta skala 1:1000 kelas 2 berdasarkan standar BIG dan skala 1:3000 jika menggunakan standarisasi BPN dengan tingkat kepercayaan 90%, RMSE jarak antara 0.07609m sampai 0.3228m (TM3) dan 0.0976m sampai 0.329m (UTM) sehingga dapat digunakan untuk pembuatan peta dengan skala lebih kecil dari 1:500, RMSE luas untuk 4, 6, dan 9 GCP menyebar (UTM dan TM3) memenuhi standar pembuatan peta berdasarkan toleransi luas dari BPN dengan tingkat kepercayaan 90%.

**Kata kunci :** *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), *Ground Control Point* (GCP), *orthorektifikasi*, *Root Mean Square Error* (RMSE)

## **PENDAHULUAN**

### **Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara dengan wilayah paling luas se-Asia Tenggara. Indonesia mempunyai luas daratan sebesar 1.922.570 km<sup>2</sup> yang terdiri dari 5 pulau besar, yaitu: Jawa dengan luas 132.107 km<sup>2</sup>, Sumatera dengan luas 473.606 km<sup>2</sup>, Kalimantan dengan luas 539.460 km<sup>2</sup>, Sulawesi dengan luas 189.216 km<sup>2</sup>, dan Papua dengan luas 421.981 km<sup>2</sup> (*Wikipedia*).

Seluruh wilayah Indonesia tersebut perlu dilakukan pemetaan yang bertujuan untuk menjamin kepastian hukum di bidang pertanahan (kadaster). Pada Peraturan Menteri Negara Agraria / Kepala Badan Pertanahan Nasional Nomor 3 Tahun 1997 (PMNA/KBPN/3/1997) pasal 142 ayat 1 menyebutkan peta kadaster dibuat dengan memetakan hasil pengukuran bidang tanah.

Menurut Sumarto, dkk. 2008, sampai tahun 2006 lalu, dari sekitar 195 juta Ha wilayah Indonesia hanya kurang dari 15 persen dari luas tersebut telah tergambar dalam peta skala besar pada skala 1:1000 dan 1:2500. Hal ini dikarenakan pembuatan peta dasar pendaftaran tanah pada umumnya menggunakan cara terestris sehingga tidak mampu memenuhi dan mencakup seluruh wilayah Indonesia. Padahal dalam peraturan di atas setiap persil tanah harus digambarkan (*plotting*) pada peta kadaster.

Selain itu, pengukuran dan pemetaan bidang tanah atau persil sebaiknya dilakukan secara berkala agar bidang tanah yang dianggap berubah tersebut dapat direspon dengan cepat, karena bidang-bidang tanah yang tergambar pada peta kadaster selalu lebih tua usianya dibandingkan dengan kondisi kenyataan di lapangan yang berpotensi menyebabkan konflik kepentingan.

Salah satu agenda kebijakan Badan Pertanahan Nasional (BPN) tahun 2014 adalah meningkatkan pelayanan dan pelaksanaan pendaftaran, serta sertifikasi tanah secara menyeluruh di seluruh Indonesia. Selain itu, sejak bulan Mei 2013 Badan Pertanahan Nasional (BPN) telah mulai melayani produksi peta tematik yang berimplikasi menambah beban pekerjaan pemetaan pendaftaran tanah yang masih berjalan. Untuk mewujudkan agenda tersebut perlu dikembangkan sistem atau teknologi pemetaan lahan/persil yang sesuai dengan asas pendaftaran tanah yaitu sederhana, aman, terjangkau, mutakhir dan terbuka serta efisien untuk mempercepat pekerjaan produksi peta kadaster ([www.bpn.go.id](http://www.bpn.go.id)).

Saat ini teknologi penginderaan jauh (inderaja) dengan citra resolusi tinggi digunakan dalam produksi peta di BPN. Namun teknologi ini mempunyai kelemahan citra yang digunakan kadang tertutup awan. Penggunaan teknologi Wahana Udara Tanpa Awak (WUTA) atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) yang bercirikan biaya rendah, mudah dioperasikan oleh tenaga lokal, cepat dalam proses produksi, dan kualitas yang memadai untuk dapat melihat obyek persil adalah pilihan yang efisien untuk memenuhi kebutuhan tersebut sepanjang ketelitian yang dihasilkan memenuhi ketentuan yang disyaratkan (Rokhmana, 2010). Oleh karena itu, dibutuhkan kajian tentang pengaruh sebaran *Ground Control Point* (GCP) terhadap ketelitian objek dari data hasil pemotretan UAV dalam pembuatan peta bidang sesuai dengan standar planimetrik Badan Pertanahan Nasional (BPN).

### **Rumusan Masalah**

Bertitik tolak dari latar belakang di atas maka peneliti merumuskan permasalahannya sebagai berikut :

Bagaimana hasil dan analisis pengaruh jumlah dan sebaran GCP dalam proses pembuatan peta bidang menggunakan sistem koordinat UTM (*Universal Transverse Mercator*) dan TM3<sup>0</sup> (*Tranverse Mercator 3<sup>0</sup>*) dari hasil pemotretan kamera non-metrik dengan menggunakan pesawat *fixedwing* sesuai standar ketelitian planimetrik serta toleransi luas dari BPN?

### **Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji pengaruh jumlah dan pola sebaran GCP serta penggunaan sistem koordinat UTM dan TM3<sup>0</sup> dalam proses pembuatan peta bidang menggunakan data foto udara dari kamera non-metrik dengan teknologi UAV menggunakan pesawat *fixedwing* sesuai standar ketelitian planimetrik BPN.

### **Manfaat Penelitian**

Manfaat dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberi masukan jumlah dan sebaran GCP yang efektif untuk keperluan proses ortorektifikasi.
2. Menghasilkan bahan pertimbangan dipergunakannya citra foto udara dari hasil pemotretan kamera non-metrik dengan teknologi UAV menggunakan wahana pesawat *fixedwing* sebagai alternatif untuk pembuatan peta bidang sesuai standar planimetrik BPN.

### **Tinjauan Pustaka**

Peraturan Pemerintah No. 24 Tahun 1997 tentang Pendaftaran Tanah mendefinisikan bahwa peta dasar pendaftaran adalah peta yang memuat titik-titik dasar teknik dan unsur-unsur geografis seperti sungai, jalan, bangunan dan batas fisik bidang tanah. Dalam penjabarannya, unsur-unsur dalam definisi peta dasar pendaftaran tanah tersebut diperoleh melalui proses pengukuran. Metode pengukuran yang dilakukan bisa dengan cara terestris, fotogrametri ataupun metode lainnya.

Penggunaan teknologi pemotretan udara dengan standar kamera tidak akan ekonomis, sebab pekerjaan minimal harus 20.000 Ha untuk dapat nilai yang efisien. Sehingga dibutuhkan teknologi tepat guna untuk percepatan penyelesaian kebutuhan survey pemetaan di wilayah perkotaan. Dari sisi teknologi perlu dikembangkan sistem pemetaan lahan/persil yang bercirikan: biaya rendah, mudah

dioperasikan, cepat dalam proses produksi, dan kualitas yang memadai. Penggunaan teknologi wahana udara nir-awak menjadi efisien untuk kisaran luasan 500 Ha. (Rokhmana, 2010).

Penggunaan wahana udara nir-awak untuk pemotretan udara menjadi lebih fleksibel untuk memenuhi kebutuhan pemotretan wilayah perkotaan pada lokasi tertentu dengan biaya yang jauh lebih murah. Sistem pemotretan dengan wahana udara nir-awak memiliki tingkat portabilitas yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan pesawat udara standar. Penggunaan wahana udara nir-awak dapat mereduksi kebutuhan biaya sewa pesawat yang mahal. Sehingga pada luasan <100 Ha pun dapat efisien untuk dilakukan pemotretan udara (Rokhmana, 2010).

Sistem pencitraan dengan wahana nir-awak dapat menghasilkan citra orto-mosaik kota yang detail, model kota 3D, dan mengukur dimensi obyek yang terekam dalam foto udara. Kualitas geometrik dari sistem pemantauan ini dapat memenuhi akurasi peta skala 1/1000 (Rokhmana, 2010).

Kurangnya peta dasar nasional skala besar untuk tujuan kadaster adalah salah satu kondisi yang harus diselesaikan oleh Badan Pertanahan Nasional (BPN) untuk pendaftaran tanah yang baik. Sehingga diperlukan suatu inovasi untuk membangun sistem pemetaan yang memiliki kemampuan untuk memetakan obyek persil skala besar. Pemetaan menggunakan UAV berbasis fotogrametri yang dihasilkan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan pemetaan kadaster yang efisien untuk luasan area lebih kecil dari 500 Ha (Rokhmana, 2010).

Banyaknya *Ground Control Point* (GCP) yang digunakan dalam proses ortorektifikasi citra sangat berpengaruh terhadap ketelitian hasil koreksi geometrik yang ditunjukkan melalui harga *Root Mean Square Error* (RMSE) (Rudianto, 2011).

## **PELAKSANAAN PENELITIAN**

### **Lokasi dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus-September 2014 di Desa Gading Kulon, Kecamatan Dau, Kabupaten Malang.

### **Peralatan dan Data Penelitian**

1. Perangkat keras berupa :
  - a. Pesawat UAV *Fixedwing* beserta kontrolernya.
  - b. *Camera Canon PowerShot S110*.
  - c. Hasil cetak lokasi dan rencana jalur pengukuran yang diambil dari *Google Earth* dan *Google Map*.
  - d. Stiker retro.
  - e. Nomor titik retro.
  - f. Kain untuk tanda (*premark*).
  - g. *GPS handheld*. Untuk membantu dalam proses pemasangan titik retro.
  - h. *GPS RTK*.
  - i. Pita ukur.
  - j. Laptop Samsung dengan spesifikasi AMD A6-4400 M APU with *Radeon™ HD Graphics 2.7 GHz hard disk* untuk pengolahan data dan penulisan laporan.
2. Perangkat lunak berupa :
  - a. *PCI Geomatica 2012* yang digunakan untuk pengolahan data foto.
  - b. *AutoCAD Land Enabled Map 2009* yang digunakan untuk pembuatan peta bidang.
  - c. *Windows 8.1 Enterprise* yang digunakan sebagai sistem operasi.
  - d. *Ms. Office Word 2013*, digunakan sebagai penulisan laporan.
  - e. *Ms. Excel 2013*, digunakan untuk perhitungan data.
  - f. *Software Transformasi Koordinat Versi 1.0*, digunakan untuk menstranformasi dari satu sistem koordinat, ke sistem koordinat yang lain (UTM ke TM3<sup>0</sup>).

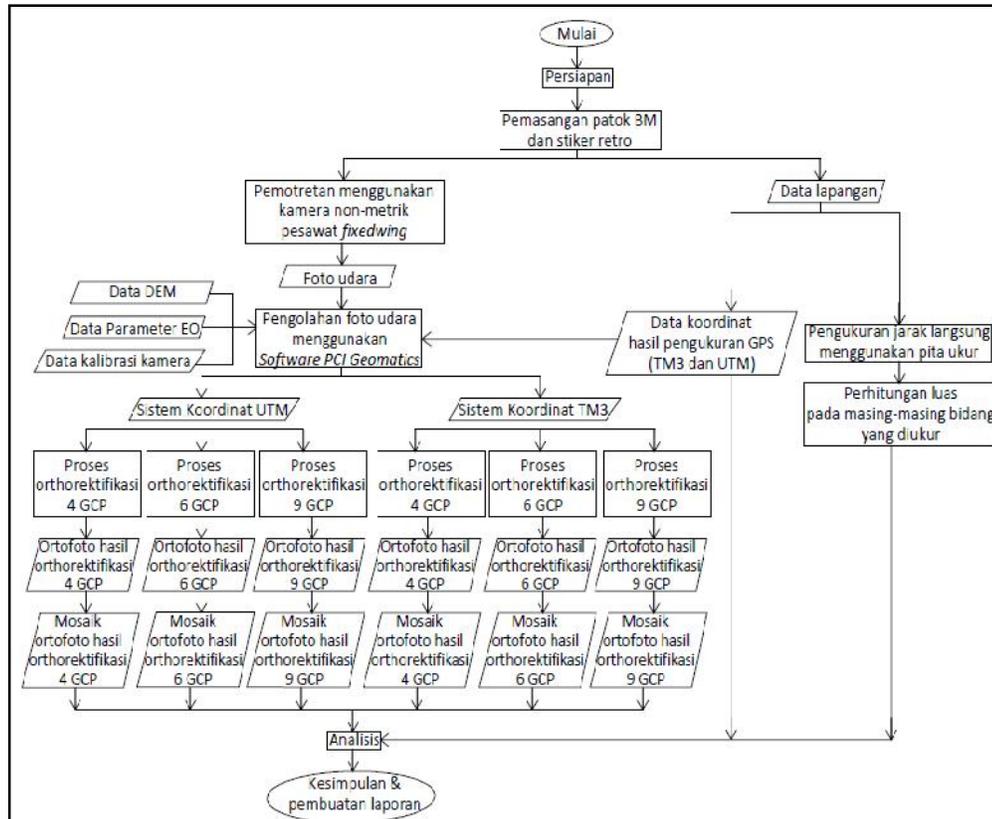
Sedangkan data yang dibutuhkan atau yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Data hasil pemotretan udara menggunakan pesawat *fixedwing* yang berupa citra foto (format \*.jpg).
2. Data kalibrasi kamera.

3. Data hasil pengukuran GPS yang digunakan sebagai GCP.
4. Data parameter EO (*Exterior Orientation*). Data DEM (*Digital Elevation Model*) yang dibuat dari hasil pengukuran detil menggunakan GPS RTK menggunakan *Software PCI Geomatica 2012*. Data DEM ini dibutuhkan untuk keperluan proses orthorektifikasi.

## METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian secara garis besar terdiri dari persiapan, pengumpulan data, pengolahan data, analisis data dan kesimpulan. Diagram alir pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Berikut ini adalah keterangan dari diagram alir penelitian gambar 1 di atas :

1. Penelitian ini berawal dari sebuah ide atau topik bahasan yang dapat dijadikan skripsi yang dapat berguna bagi pembaca. Kemudian ide tersebut dikembangkan menjadi rumusan masalah, tujuan, manfaat dan batasan penelitian.
2. Tahap persiapan dilakukan seperti yang sudah dijelaskan pada subbab III.1 sebelumnya.
3. Awal pekerjaan lapangan adalah pemasangan patok BM dan stiker retro. Pemasangan titik retro dilakukan dengan bantuan GPS *handheld* dan berdasarkan rencana yang telah dibuat.
4. Setelah itu dilakukan pemotretan menggunakan teknologi UAV wahana pesawat *fixedwing* dan pengukuran terestris menggunakan GPS RTK dan pita ukur yang akan digunakan sebagai pembanding.
5. Selanjutnya adalah proses pengolahan data. Pengolahan data foto udara hasil pemotretan dilakukan menggunakan *Software PCI Geomatica 2012*. Pada *Software PCI Geomatica 2012* foto udara tersebut dikoreksi geometrik dengan metode orthorektifikasi.

6. Proses orthorektifikasi dilakukan menggunakan 4 GCP, 6 GCP dan 9 GCP untuk masing-masing foto dan masing-masing sistem koordinat yang digunakan yaitu UTM dan TM3. Koordinat GCP tersebut merupakan hasil pengukuran GPS (sistem koordinat UTM) dan koordinat X,Y,Z yang sudah ditransformasi ke dalam proyeksi TM 3<sup>0</sup> menggunakan *Software Transformasi Koordinat Versi 1.0*. Kemudian dilakukan proses mozaik dari ortofoto hasil ortorektifikasi menggunakan 4 GCP, 6 GCP dan 9 GCP untuk masing sistem koordinat.
7. Kemudian akan didapatkan luas bidang dari hasil pengukuran jarak menggunakan pita ukur.
8. Proses analisis dilakukan dengan membandingkan ketelitian titik (*check point*), jarak dan luas hasil pengukuran pita ukur dengan jarak dan luas dari ortofoto hasil ortorektifikasi 4 GCP, 6 GCP dan 9 GCP (sistem koordinat UTM dan TM3) berdasarkan standar planimetrik BPN.

### **Pengolahan Data Foto Udara Menggunakan *Software PCI Geomatica 2012***

Pengolahan data foto udara hasil pemotretan kamera non-metrik dengan wahana pesawat *fixedwing* dilakukan menggunakan *Software PCI Geomatica 2012* menggunakan metode orthorektifikasi. Sebelum melakukan proses orthorektifikasi maka kita perlu menyiapkan data-data yang kita butuhkan terlebih dahulu.

#### **Data kalibrasi kamera**

Data kalibrasi kamera didapatkan dari hasil proses kalibrasi kamera menggunakan *Software Australis*. Data hasil kalibrasi kamera disimpan dalam bentuk *text document* (.txt) yang kemudian diperlukan dalam proses orthorektifikasi menggunakan *Software PCI Geomatica 2012*.

#### **Data parameter EO**

Data parameter EO didapatkan dari hasil pengolahan masing-masing foto menggunakan *Software E-foto* sehingga diperoleh parameter *Xo, Yo, Zo, omega, phi, kappa* yang diperlukan dalam proses orthorektifikasi menggunakan *Software PCI Geomatica 2012*.

#### **Data DEM**

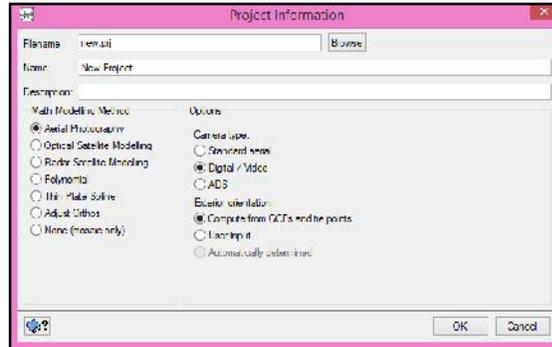
Data DEM dalam penelitian ini dibuat menggunakan *Software PCI Geomatica 2012*. Namun sebelum itu, maka kita membutuhkan data hasil *plotting* dari titik-titik detil hasil pengukuran secara terestris menggunakan GPS RTK dalam bentuk *.dxf*.

#### **Data Koordinat Titik GCP**

Koordinat titik GCP didapatkan dengan melakukan pengukuran menggunakan GPS RTK. Dari hasil pengukuran tersebut didapatkan data koordinat dengan sistem koordinat UTM, sedangkan pada penelitian ini juga menggunakan data dengan sistem koordinat TM3. Maka perlu dilakukan proses transformasi koordinat menggunakan *Software Transformasi Koordinat Versi 1.01* dari Bakosurtanal.

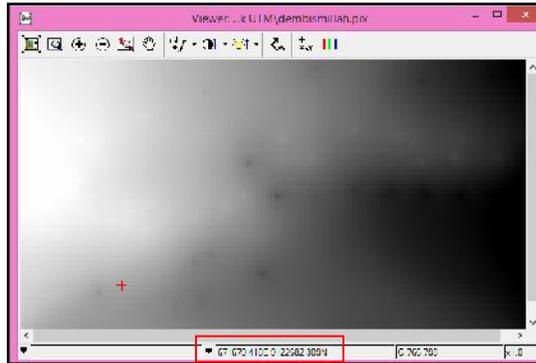
Orthorektifikasi dilakukan dengan menandai 4 GCP, 6 GCP dan 9 GCP pada masing-masing foto dalam sistem koordinat UTM dan TM3, dan dikelompokkan menjadi 12 *project* yang berbeda berdasarkan jumlah dan distribusi GCP serta sistem koordinat yang digunakan. Adapun, langkah-langkah pengolahan data foto udara dengan metode orthorektifikasi menggunakan *Software PCI Geomatica 2012* adalah sebagai berikut :

1. Buka *Software PCI Geomatica 2012*. klik icon *OrthoEngine* untuk melakukan proses orthorektifikasi. Membuat *project* baru dengan cara klik *Menu File* → *New*. Pada "*Math Modelling Method*" pilih *Aerial Photography*. Pada "*Camera Type*" pilih *Digital/Video*. Pada "*Exterior Orientation*" pilih *Compute from GCPs and tie points*.



Gambar 2. Tampilan *Project Information* untuk pembuatan *project* baru di *PCI Geomatica 2012*

2. Kemudian mengatur sistem proyeksi yang digunakan dengan cara pada *output projection* pilih UTM → maka akan muncul kotak dialog *Earth Models* → pilih *WGS 1984 (Global Definition)* → klik *Accept*. Kemudian klik *Earth Model* kembali → klik *Ellipsoid* → pilih *E012 – WGS 84* → klik *Accept*. Setelah itu, isikan 0.1 pada *output pixel spacing* dan *output line spacing*. Klik “*Set GCP Projection based on Output Projection*” agar data masukan dan data keluaran berada pada sistem koordinat dan sistem proyeksi yang sama.
3. Isikan data kalibrasi kamera.
4. Pada “*Processing step*” pilih “*Data Input*”. Kemudian memasukkan data foto udara dengan cara klik icon “*Open a new or existing image*”. Setelah itu klik icon “*Manually edit exterior orientation data*” untuk memasukkan parameter EO dari masing-masing foto secara manual. Setelah seluruh data yang diperlukan selesai dimasukkan ke dalam *project*, maka selanjutnya dapat dilakukan pengumpulan atau penandaan titik-titik GCP ke masing-masing foto. Adapun caranya adalah dengan memilih “*GCP/TP Collection*” pada “*Processing step*”. Pilih “*Collect GCP Manually*”, karena pada penelitian ini titik GCP perlu dimasukkan secara manual agar sesuai dengan tujuan penelitian. Kemudian pilih salah satu foto terlebih dahulu yang akan digunakan dalam penandaan titik GCP. Kemudian buat titik baru dengan cara klik *New Point* pada kotak dialog *GCP Collection for ...* (foto yang sedang dibuka). Beri nama sesuai dengan nama yang diukur di lapangan. Isikan koordinat X pada *Easting (X)*, koordinat Y pada *Northing (Y)*, dan koordinat tinggi titik pada *MSL Elev (Z)*. Kemudian tandai titik GCP pada foto (harus sesuai dengan posisi di lapangan). Klik *Use Point*. Kemudian kembali ke kotak dialog *GCP Collection for ...* → klik *Accept*.  
Lakukan langkah-langkah seperti di atas untuk pembuatan titik GCP yang lain.
5. Setelah proses penandaan titik GCP selesai dilakukan pada semua foto, maka selanjutnya dapat dilakukan proses perhitungan model menggunakan metode *bundle adjustment* dengan cara pilih “*Model Calculations*” pada “*Processing step*”.
6. Setelah proses perhitungan telah dilakukan dengan benar, maka kita dapat melihat RMS dari masing-masing titik GCP dan RMS dari parameter EO pada masing-masing foto dengan kembali memilih “*GCP/TP Collection*” pada “*Processing step*”, kemudian klik “*Residual Report*”.
7. Langkah selanjutnya adalah pembuatan DEM dari data *plotting (.dxf)* hasil pengukuran terestris menggunakan GPS RTK. Adapun langkah-langkah pembuatan DEM adalah sebagai berikut :
  - a. Memilih “*Import & Build DEM*” pada *Processing Step*.
  - b. Klik icon “*DEM from vectors/points*”.
  - c. Buka hasil *plotting* pengukuran detil menggunakan GPS RTK dengan mengklik *Select* pada kotak dialog “*Input Vector Selected Layer*”. Pilih data dalam bentuk *.dxf*.
  - d. Setelah itu klik layer yang berada di “*vector layer available*”. Klik tanda panah → klik pada layer yang berada di “*vector layer to interpolate*”. Klik *OK*.
  - e. Maka DEM telah selesai dibuat.



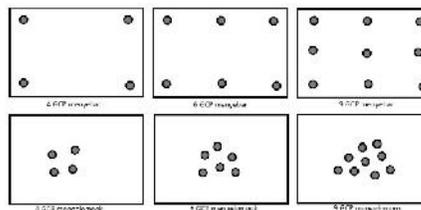
Gambar 3. Tampilan hasil pembuatan DEM menggunakan *PCI Geomatica 2012*

8. Selanjutnya adalah proses pembuatan ortofoto dari masing-masing foto. Adapun caranya adalah dengan pilih “*Orto Generation*” pada “*Processing step*”. Klik icon “*Orto Generation*”. Pilih foto yang akan diorthorektifikasi dengan mengklik nama foto pada “*Available image*” → klik tanda panah. Masukkan DEM yang akan digunakan pada proses orthorektifikasi (yang telah dibuat sebelumnya) dengan cara klik *Browse DEM* pada “*Ortho Generation Options*” → pilih DEM. Klik “*Generate Orthos*”, tunggu sampai proses orthorektifikasi selesai dilakukan (proses ini cukup lama, tergantung spesifikasi laptop atau komputer yang digunakan dalam proses orthorektifikasi).
9. Setelah proses orthorektifikasi selesai dilakukan pada masing-masing foto, maka proses terakhir adalah membuat mosaik dari ortofoto yang telah dibuat tersebut. Caranya adalah dengan memilih “*Mosaic*” pada “*Processing step*”. Klik icon menu “*Define mosaic area*” → pilih tempat penyimpanan dengan cara klik *Browse* pada kotak dialog “*Define Mosaic*” dan beri nama file hasil *mosaic* tersebut. Pilih ortofoto yang akan dimosaik dengan cara klik icon “*Select images to be mosaicked*” → pilih semua foto sehingga warna *border* ortofoto menjadi cyan. Klik *OK*. Setelah itu akan kembali ke menu *Define Mosaic*. Klik icon menu “*Automatic Mosaicking*” pada “*Mosaic Processing Step*”. Klik “*Generate Preview*” pada kotak dialog “*Automatic Mosaicking*” → klik “*Generate Mosaic*”.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengolahan foto udara menggunakan *Software PCI Geomatica 2012* dilakukan menggunakan sistem koordinat UTM dan TM3, sehingga didapatkan 12 hasil mosaik ortofoto dari proses orthorektifikasi menggunakan jumlah dan distribusi 4 GCP menyebar UTM, 4 GCP mengelompok UTM, 6 GCP menyebar UTM, 6 GCP mengelompok UTM, 9 GCP menyebar UTM, 9 GCP mengelompok UTM, 4 GCP menyebar TM3, 4 GCP mengelompok TM3, 6 GCP menyebar TM3, 6 GCP mengelompok TM3, 9 GCP menyebar TM3, 9 GCP mengelompok TM3.

Gambar distribusi dan jumlah titik GCP yang digunakan pada proses orthorektifikasi dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. Jumlah dan sebaran titik GCP

### Uji Ketelitian Titik 4 GCP Mengelompok (BIG)

RMSE ketelitian titik (TM3) dengan kepercayaan peta 90% adalah 2.504778822, sehingga memenuhi standar ketelitian peta dasar skala 1:10000 kelas 2. RMSE ketelitian titik (UTM) dengan

kepercayaan peta 90% adalah 2.572387019 m, sehingga memenuhi standar ketelitian peta dasar skala 1:10000 kelas 2.

**Uji Ketelitian Titik 6 GCP Mengelompok (BIG)**

RMSE ketelitian titik (TM3) dengan kepercayaan peta 90% adalah 2.443397549 m, sehingga memenuhi standar ketelitian peta dasar skala 1:10000 kelas 2. RMSE ketelitian titik (UTM) dengan kepercayaan peta 90% adalah 2.487510198, sehingga memenuhi standar ketelitian peta dasar skala 1:10000 kelas 2.

**Uji Ketelitian Titik 9 GCP Mengelompok (BIG)**

RMSE ketelitian titik (TM3) dengan kepercayaan peta 90% adalah 2.375796937m, sehingga memenuhi standar ketelitian peta dasar skala 1:10000 kelas 2. RMSE ketelitian titik (UTM) dengan kepercayaan peta 90% adalah 2.315905484m , sehingga memenuhi standar ketelitian peta dasar skala 1:10000 kelas 2.

**Uji Ketelitian Titik 4 GCP Menyebar (BIG)**

RMSE ketelitian titik (TM3) dengan kepercayaan peta 90% adalah 0.526405381 m, sehingga memenuhi standar ketelitian peta dasar skala 1:2500 kelas 2. RMSE ketelitian titik (UTM) dengan kepercayaan peta 90% adalah 0.53143058, sehingga memenuhi standar ketelitian peta dasar skala 1:2500 kelas 2.

**Uji Ketelitian Titik 6 GCP Menyebar (BIG)**

RMSE ketelitian titik (TM3) dengan kepercayaan peta 90% adalah 0.397753801 m, sehingga memenuhi standar ketelitian peta dasar skala 1:1000 kelas 3 atau peta dasar skala 1:2000 kelas 1. RMSE ketelitian titik (UTM) dengan kepercayaan peta 90% adalah 0.399364659, sehingga memenuhi standar ketelitian peta dasar skala 1:1000 kelas 3 atau skala 1:2500 kelas 1.

**Uji Ketelitian Titik 9 GCP Menyebar (BIG)**

RMSE ketelitian titik (TM3) dengan kepercayaan peta 90% adalah 0.294836063 m, sehingga memenuhi standar ketelitian peta dasar skala 1:1000 kelas 2. RMSE ketelitian titik (UTM) dengan kepercayaan peta 90% adalah 0.298570914 m, sehingga memenuhi standar ketelitian peta dasar skala 1:1000 kelas 2.

**Analisis Ketelitian Titik Berdasarkan Standarisasi BPN**

Standarisasi Pengukuran dan Pemetaan Kadastral yang dikeluarkan oleh Bagian Proyek Administrasi Pertanahan Tahun 2003 mensyaratkan bahwa ketelitian (RMS) dari koordinat titik sekutu harus lebih kecil dari 0,1 mm pada skala peta. Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil nilai RMSE terhadap ketelitian titik yang dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 1 Rekapitulasi RMSE Titik dalam sistem koordinat TM3 berdasarkan standarisasi BPN

Jumlah & Distribusi GCP	RMSx	RMSy	RMSE	RMSE 90
4 GCP mengelompok	1.387763368	0.893632288	1.6505956	2.504778822
6 GCP mengelompok	1.350546525	0.876696261	1.610146655	2.443397549
9 GCP mengelompok	1.331553416	0.823448035	1.5655993	2.375796937
4 GCP menyebar	0.2212007	0.2672131	0.3468899	0.5264054
6 GCP menyebar	0.1781982	0.1922178	0.2621112	0.3977538
9 GCP menyebar	0.1561753	0.1155774	0.1942907	0.2948361

Tabel 2 Rekapitulasi RMSE Titik dalam sistem koordinat UTM berdasarkan standarisasi BPN

Jumlah & Distribusi GCP	RMSx	RMSy	RMSE	RMSE 90
4 GCP mengelompok	1.3821008	0.9814907	1.6951480	2.5723870
6 GCP mengelompok	1.3229991	0.9678337	1.6392159	2.4875102
9 GCP mengelompok	1.3723089	0.7999608	1.5884487	2.4104709
4 GCP menyebar	0.2314076	0.2628526	0.3502014	0.5314306
6 GCP menyebar	0.1891780	0.1829525	0.2631728	0.3993647
9 GCP menyebar	0.1376533	0.1405804	0.1967518	0.2985709

Berdasarkan hasil analisa di atas maka dapat disimpulkan bahwa nilai RMSE terkecil didapatkan dari hasil proses orthorektifikasi 9 GCP menyebar (TM3) sehingga dapat digunakan untuk pembuatan peta bidang atau peta pendaftaran tanah dengan skala 1:3000 dengan tingkat kepercayaan peta 90%. Selain itu, terdapat perbedaan nilai RMSE antara hasil proses orthorektifikasi menggunakan sistem koordinat UTM dan TM3. Perbedaan tersebut adalah hasil nilai RMSE menggunakan sistem koordinat TM3 lebih baik (kecil) daripada sistem koordinat UTM. Hal ini mungkin dikarenakan sistem proyeksi TM3 mempunyai kesalahan atau reduksi yang lebih kecil daripada sistem proyeksi UTM.

### Analisis Ketelitian Jarak

Ketelitian jarak diatur pada Peraturan Menteri Agraria / Kepala Badan Pertanahan Nasional pasal 17 ayat 2 huruf b yang menyatakan bahwa peta harus mempunyai ketelitian planimetris lebih kecil dari 0,3 mm pada skala peta. Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil nilai RMSE terhadap ketelitian jarak yang dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 3 Rekapitulasi RMSE Jarak dalam sistem koordinat TM3 berdasarkan standarisasi BPN

Jumlah & Distribusi GCP	RMS Jarak (m)	RMS Jarak 90% (m)
4 GCP mengelompok	0.32280	0.48985
6 GCP mengelompok	0.27926	0.423776
9 GCP mengelompok	0.219955	0.33378
4 GCP menyebar	0.131674	0.199816
6 GCP menyebar	0.109931	0.16682
9 GCP menyebar	0.076091	0.115467

Tabel 4 Rekapitulasi RMSE Jarak dalam sistem koordinat UTM berdasarkan standarisasi BPN

Jumlah & Distribusi GCP	RMS Jarak (m)	RMS Jarak 90% (m)
4 GCP mengelompok	0.329	0.49928
6 GCP mengelompok	0.30003	0.4552974
9 GCP mengelompok	0.22804	0.3460535
4 GCP menyebar	0.151034	0.229194
6 GCP menyebar	0.110712	0.168005
9 GCP menyebar	0.097612	0.148126

### Analisis Ketelitian Luas

Bagian Proyek Administrasi Pertanahan Badan Pertanahan Nasional Tahun 2003 mengeluarkan standarisasi pengukuran dan pemetaan kadastral mengenai toleransi luas yang dapat diterima perhitungannya adalah  $KL (0,5 L) m^2$ . Untuk mengetahui apakah sampel luas bidang hasil orthorektifikasi diterima atau tidak, maka dilakukan perbandingan terhadap perhitungan luas dari pengukuran jarak langsung di lapangan menggunakan pita ukur.

Hasil analisis luas untuk orthorektifikasi 4, 6 dan 9 GCP menyebar UTM & TM3 memenuhi toleransi luas untuk tingkat kepercayaan peta 90%. Hal ini dikarenakan RMS dan simpangan baku dari orthorektifikasi 4, 6 dan 9 GCP mengelompok kurang dari toleransi 6.963.

Hasil analisis luas untuk orthorektifikasi 4, 6 dan 9 GCP mengelompok UTM & TM3 tidak memenuhi toleransi luas untuk tingkat kepercayaan peta 90%. Hal ini dikarenakan RMS dan simpangan baku dari orthorektifikasi 4, 6 dan 9 GCP mengelompok lebih dari toleransi 6.963.

### Analisis Skala Peta

Untuk dapat mengetahui skala peta yang dapat dicapai dari hasil kajian pengaruh jumlah dan sebaran GCP dalam pembuatan peta bidang dari hasil pemotretan kamera non-metrik wahana pesawat *fixedwing*, dilakukan perhitungan skala berdasarkan standarisasi BPN dan BIG dengan tingkat kepercayaan peta 90%. Hasil perhitungan tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 5 Analisis skala peta

Sistem Koordinat TM3					
No	Jumlah&distribusi GCP	Analisis Titik BIG	Analisis Titik BPN	Analisis Jarak	Analisis Luas
1	4 GCP mengelompok	1 / 10000 (2)	1 / 25500	1 / 2000	tidak memenuhi
2	6 GCP mengelompok	1 / 10000 (2)	1 / 24500	1 / 2000	tidak memenuhi
3	9 GCP mengelompok	1 / 10000 (2)	1 / 24000	1 / 2000	tidak memenuhi
4	4 GCP menyebar	1 / 2500 (2)	1 / 5300	1 / 1000	memenuhi
5	6 GCP menyebar	1 / 1000 (3)	1 / 4000	1 / 1000	memenuhi
6	9 GCP menyebar	1 / 1000 (2)	1 / 3000	1 / 500	memenuhi
Sistem Koordinat UTM					
No	Jumlah&distribusi GCP	Analisis Titik BIG	Analisis Titik BPN	Analisis Jarak	Analisis Luas
1	4 GCP mengelompok	1 / 10000 (2)	1 / 25500	1 / 2000	tidak memenuhi
2	6 GCP mengelompok	1 / 10000 (2)	1 / 25000	1 / 2000	tidak memenuhi
3	9 GCP mengelompok	1 / 10000 (2)	1 / 24200	1 / 2000	tidak memenuhi
4	4 GCP menyebar	1 / 2500 (2)	1/5400	1 / 1000	memenuhi
5	6 GCP menyebar	1 / 1000 (3)	1 / 4000	1 / 1000	memenuhi
6	9 GCP menyebar	1 / 1000 (2)	1 / 3000	1 / 500	memenuhi

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

- Hasil uji ketelitian titik hasil orthorektifikasi antara distribusi GCP menyebar dan mengelompok terdapat perbedaan yang sangat signifikan, yaitu nilai RMSE titik pada persebaran mengelompok sangat besar. Hal ini dibuktikan dengan hasil RMSE titik mengelompok TM3 yang paling kecil mencapai 2.375796937m dan UTM mencapai 2.410470852m.

Tabel 6 Perbandingan RMSE distribusi menyebar dan mengelompok

Jumlah Titik	RMSE Mengelompok (TM3)	RMSE Menyebar (TM3)	RMSE Mengelompok (UTM)	RMSE Menyebar (UTM)
4	2.504778822	0.526405381	2.572387019	0.53143058
6	2.443397549	0.397753801	2.487510198	0.399364659
9	2.375796937	0.294836063	2.410470852	0.298570914

- Titik cek yang berada jauh dari titik GCP yang digunakan untuk proses orthorektifikasi akan mengalami distorsi yang besar, hal ini dibuktikan dengan titik F71 pada hasil uji ketelitian titik 4, 6, 9 GCP mengelompok yang merupakan titik dengan RMSE terbesar.

Tabel 7 RMSE titik F71 pada persebaran mengelompok

Jumlah Titik	RMSE Mengelompok (TM3)	RMSE Mengelompok (UTM)	RMSE titik F71
4	3.719362983	3.718193244	
6	3.531179548	3.477457979	
9	3.508327522	3.53292202	

- Jumlah dan distribusi GCP yang paling baik untuk proses orthorektifikasi adalah pada 9 GCP menyebar, hal ini dikarenakan nilai RMSE hasil uji ketelitian titik untuk 9 GCP menyebar adalah yang paling kecil untuk tingkat kepercayaan peta 90% (BIG), baik dengan sistem koordinat UTM maupun TM3.

Tabel 8 RMSE titik dengan tingkat kepercayaan 90% berdasarkan standarisasi BIG

Persebaran	RMSE titik CE90 (TM3)	Skala	RMSE titik CE90 (UTM)	Skala
4 mengelompok	2.504778822 m	1 / 10000, kelas (2)	2.572387019 m	1 / 10000, kelas (2)
6 mengelompok	2.443397549 m	1 / 10000, kelas (2)	2.487510198 m	1 / 10000, kelas (2)
9 mengelompok	2.375796937 m	1 / 10000, kelas (2)	2.410470852 m	1 / 10000, kelas (2)
4 menyebar	0.526405381 m	1 / 2500, kelas (2)	0.53143058 m	1 / 2500, kelas (2)

6 menyebar	0.397753801 m	1 / 1000, kelas (3)	0.399364659 m	1 / 1000, kelas (3)
9 menyebar	0.294836063 m	1 / 1000, kelas (2)	0.298570914 m	1 / 1000, kelas (2)

- Berdasarkan standarisasi ketelitian titik BIG tahun 2014, maka hasil proses orthorektifikasi menggunakan distribusi 9 GCP menyebar baik menggunakan sistem koordinat UTM maupun TM3 dapat memenuhi standarisasi pembuatan peta dasar skala 1: 1000 pada kelas 2.
- Jumlah dan distribusi GCP yang paling baik untuk proses orthorektifikasi adalah pada 9 GCP menyebar, hal ini dikarenakan nilai RMSE hasil uji ketelitian titik untuk 9 GCP menyebar sesuai standarisasi BPN adalah yang paling kecil baik dengan sistem koordinat UTM maupun TM3.

Tabel 9 RMSE titik TM3 dan UTM berdasarkan standarisasi BPN

Persebaran	RMSE titik 90 (TM3)	Skala	RMSE titik 90 (UTM)	Skala
4 mengelompok	2.504778822 m	1 / 25500	2.572387019 m	1 / 26000
6 mengelompok	2.443397549 m	1 / 25000	2.487510198 m	1 / 25000
9 mengelompok	2.375796937 m	1 / 24000	2.410470852 m	1 / 24200
4 menyebar	0.526405381 m	1 / 5300	0.53143058 m	1 / 54000
6 menyebar	0.397753801 m	1 / 4000	0.399364659 m	1 / 4000
9 menyebar	0.294836063 m	1 / 3000	0.298570914 m	1 / 3000

- Berdasarkan standarisasi ketelitian titik menurut BPN, maka hasil proses orthorektifikasi menggunakan distribusi 9 GCP menyebar baik menggunakan sistem koordinat UTM maupun TM3 dapat memenuhi standarisasi pembuatan peta dasar skala 1: 3000.
- Skala peta untuk hasil uji ketelitian titik dengan standarisasi BPN dan BIG berbeda karena rumus standarisasi yang digunakan berbeda pula. BPN menggunakan 0.1xskala peta, sedangkan BIG menggunakan 0.2xskala peta (kelas 1), 0.3xskala peta (kelas 1), 0.5xskala peta (kelas 1).
- Hasil ketelitian titik antara sistem koordinat TM3 dan UTM berbeda karena tanda silang titik retro pada foto udara tidak terlihat karena tinggi terbang pesawat, sehingga peneliti tidak dapat melakukan proses penandaan titik GCP secara maksimal.
- Hasil uji ketelitian jarak hasil orthorektifikasi 4 dan 6 GCP menyebar (UTM & TM3) dapat digunakan untuk keperluan pembuatan peta bidang/peta pendaftaran tanah skala 1:1000, 9 GCP menyebar (UTM & TM3) dapat digunakan untuk keperluan pembuatan peta bidang/peta pendaftaran tanah skala 1:500. Hal ini berdasarkan standarisasi ketelitian BPN untuk peta dengan skala 1:500 maka RMS jarak maksimal adalah 0.15m, untuk peta dengan skala 1:1000 maka RMS jarak maksimal adalah 0.3m. Sementara untuk hasil orthorektifikasi 4, 6, 9 GCP mengelompok (UTM & TM3) dapat digunakan untuk keperluan pembuatan peta bidang/peta pendaftaran tanah skala 1:2000. Hal ini berdasarkan standarisasi ketelitian BPN untuk peta dengan skala 1:2000 maka RMS jarak maksimal adalah 0.60 m, sedangkan hasil RMS jarak untuk 4, 6 dan 9 GCP mengelompok kurang dari 0,60 m.

Tabel 10 RMS jarak TM3 dan UTM berdasarkan standarisasi BPN

Persebaran	RMS Jarak TM3 90% (m)	Skala	RMS Jarak UTM 90% (m)	Skala
4 mengelompok	0.489851852	1 / 2000	0.499284375	1 / 2000
6 mengelompok	0.423775707	1 / 2000	0.455297411	1 / 2000
9 mengelompok	0.333782027	1 / 2000	0.346053534	1 / 2000
4 menyebar	0.199816	1 / 1000	0.229194	1 / 1000
6 menyebar	0.16682	1 / 1000	0.168005	1 / 1000
9 menyebar	0.115467	1 / 500	0.148126	1 / 500

- Ketelitian hasil orthorektifikasi antara sistem koordinat UTM dan TM3 berbeda. Sistem koordinat TM3 lebih teliti karena mempunyai nilai RMS yang lebih kecil terutama pada hasil ketelitian jarak.

11. Hasil uji toleransi luas menggunakan sistem koordinat TM3 adalah hasil orthorektifikasi menggunakan 4 GCP mengelompok didapatkan bahwa 53.33% dapat memenuhi toleransi luas dan 46.67% tidak memenuhi toleransi luas, untuk hasil 6 GCP mengelompok didapatkan bahwa 60% dapat memenuhi toleransi luas dan 40% tidak memenuhi toleransi luas, untuk hasil 9 GCP mengelompok didapatkan bahwa 86.67% dapat memenuhi toleransi luas dan 13.33% tidak memenuhi toleransi luas, untuk hasil 4 GCP menyebar didapatkan bahwa 93.33% dapat memenuhi toleransi luas dan 6.67% tidak memenuhi toleransi luas, untuk hasil 6 & 9 GCP menyebar didapatkan bahwa 100% memenuhi toleransi luas.

Tabel 11 Hasil analisis untuk toleransi luas rata-rata berdasarkan standarisasi BPN

Persebaran	Rata-rata Selisih Luas TM3 (m)	Masuk Toleransi	Tidak Masuk Toleransi	Rata-rata Selisih Luas UTM (m)	Masuk Toleransi	Tidak Masuk Toleransi
4 mengelompok	6.904m <sup>2</sup>	53.33%	46.67%	6.981m <sup>2</sup>	53.33%	46.67%
6 mengelompok	5.833m <sup>2</sup>	60%	40%	5.964m <sup>2</sup>	60%	40%
9 mengelompok	4.815m <sup>2</sup>	86.67%	13.33%	5.154m <sup>2</sup>	86.67%	13.33%
4 menyebar	2.93712m <sup>2</sup>	93.33%	6.67%	2.7373 m <sup>2</sup>	93.33%	6.67%
6 menyebar	2.2777 m <sup>2</sup>	100%	0%	2.954467 m <sup>2</sup>	100%	0%
9 menyebar	0.844175 m <sup>2</sup>	100%	0%	2.45887 m <sup>2</sup>	100%	0%

12. Hasil uji toleransi luas yang menggunakan sistem koordinat UTM adalah hasil orthorektifikasi menggunakan 4 GCP mengelompok didapatkan bahwa 53.33% dapat memenuhi toleransi luas dan 46.67% tidak memenuhi toleransi luas, untuk hasil 6 GCP mengelompok didapatkan bahwa 60% dapat memenuhi toleransi luas dan 40% tidak memenuhi toleransi luas, untuk hasil 9 GCP mengelompok didapatkan bahwa 86.67% dapat memenuhi toleransi luas dan 13.33% tidak memenuhi toleransi luas, untuk hasil 4 GCP menyebar didapatkan bahwa 93.33% dapat memenuhi toleransi luas dan 6.67% tidak memenuhi toleransi luas, untuk hasil 6 & 9 GCP menyebar didapatkan bahwa 100% memenuhi toleransi luas.
13. Hasil uji toleransi luas terhadap orthorektifikasi 4, 6, 9 GCP menyebar sistem koordinat UTM & TM3 dengan tingkat kepercayaan 90% adalah memenuhi toleransi. Namun untuk hasil uji toleransi luas terhadap orthorektifikasi 4, 6, 9 GCP mengelompok dengan sistem koordinat UTM & TM3 dengan tingkat kepercayaan 90% adalah tidak memenuhi toleransi. Toleransi luas maksimal adalah 6.963m<sup>2</sup>.

Tabel 12 Hasil analisis untuk toleransi luas tingkat kepercayaan 90%

Persebaran	RMS 90% TM3	Keterangan	RMS 90% UTM	Keterangan
4 mengelompok	12.635	tidak memenuhi	13.156	tidak memenuhi
6 mengelompok	11.078	tidak memenuhi	11.234	tidak memenuhi
9 mengelompok	8.940	tidak memenuhi	9.250	tidak memenuhi
4 menyebar	6.025	memenuhi	5.653	memenuhi
6 menyebar	4.459	memenuhi	4.630	memenuhi
9 menyebar	2.691	memenuhi	4.189	memenuhi

## Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

1. Sebaiknya banyak berlatih dan membaca tutorial mengenai *software PCI Geomatica 2012* agar tidak mengalami kebingungan dan tidak membuang-buang waktu ketika proses pengolahan data berlangsung.
2. Proses pengolahan data sebaiknya dilakukan menggunakan laptop atau komputer dengan spesifikasi yang lebih baik daripada yang dipakai dalam penelitian ini, karena akan mempercepat dalam proses pembuatan ortofoto.

3. Sebaiknya waktu pemotretan dilakukan pada pagi hari agar angin belum terlalu kencang sehingga saat pemotretan berlangsung pesawat yang digunakan akan menjadi lebih stabil.
4. Sebaiknya kamera yang digunakan pada penelitian selanjutnya mempunyai spesifikasi yang lebih baik dari penelitian ini sehingga foto yang dihasilkan akan menjadi lebih baik.
5. Sebaiknya tinggi terbang dalam proses pemotretan disesuaikan dengan besarnya titik retro yang dipasang di lapangan agar titik retro tersebut dapat diidentifikasi dengan jelas saat proses pengolahan data berlangsung.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pertanahan Nasional. 2014. *Tentang Kami*. <http://www.bpn.go.id/Tentang-Kami/Sekilas>. 16 September 2014.
- Bakosurtanal, 1996. Laporan Penelitian “Pengembangan Model Pemetaan Dengan Small Format Aerial Photography (SFAP) Sebagai Komplemen Survey dan Pemetaan”, Bakosurtanal.
- Darajat, Anisa Ulya, 2012. Sistem Telemetri Unmanned Aerial Vehicle (Uav) Berbasis Inertial Measurement Unit (IMU), *Electrician Jurnal Rekayasa Teknologi Elektro Universitas Bandar Lampung*, Lampung.
- Ghilani, Charles D, 2010. *Adjustment Computations Spatial Data Analysis fifth edition*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken New Jersey, Canada.
- Gularso, Herjuno, 2013. Tinjauan Pemotretan Udara Format Kecil Menggunakan Pesawat Model Skywalker 1680 (Studi Kasus : Area Sekitar Kampus UNDIP), *Jurnal Geodesi UNDIP*, Semarang.
- Irdian, Muhamad. 2008. *Analisis Akurasi Citra Quickbird Untuk Keperluan Peta Dasar Pendaftaran Tanah*. Tesis. Program Studi Magister Teknik Geodesi dan Geomatika Bidang Pengutamaan Administrasi Pertanahan Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Julzarika, Atriyon, 2009. Perbandingan Teknik Orthorektifikasi Citra Satelit SPOT5 Wilayah Semarang dengan Metode Digital Mono Plotting (DMP) dan Metode Rational Polynomial Coefficients (RPCs), *Jurnal Penginderaan Jauh Vol.6*.
- Ligterink, G. H. 1987. *Dasar-Dasar Fotogrametri Interpretasi Foto Udara*. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Mutiara, Ira, 2004, *Pendidikan dan Pelatihan (Diklat) Teknis Pengukuran dan Pemetaan Kota*, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Ostip, Sudomo, “Georeferencing”, PT Duta Informatika.
- PCI Geomatics, 2014, *Home*. <http://www.pcigeomatics.com>. 16 September 2014.
- Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.
- Peraturan Menteri Negara Agraria / Kepala Badan Pertanahan Nasional Nomor 3 Tahun 1997 (PMNA/KBPN/3/1997).
- Peraturan Pemerintah No. 24 Tahun 1997 tentang Pendaftaran Tanah.
- Prihandito, Aryono. 1998. *Proyeksi Peta*. Kanisius, Yogyakarta.
- Purwanto, Taufik Hery, *Digital Terrain Modeling*.
- Rokhmana. C. A.. and Soetaat. 2004. The Critical Review of Using Small Format Aerial Photogrammetry for Municipality Mapping in Indonesia. *Proceeding Map Asia 2004*. Jakarta.
- Rokhmana. C.A.. 2007. The Low-Cost Monitoring System For Landslide And Volcano With Digital Photogrammetry, *Proceeding Joint Convention HAGI, IAGI, IATMI* .
- Rokhmana. C. A.. 2008. Some Notes on Using Balloon Photography For Modeling The Landslide Area, *Proceeding Map Asia 2008*.
- Rokhmana. C.A.. 2009. THE POTENTIAL APPLICATIONS OF BALLOON PHOTOGRAMMETRY FOR CADASTRE MAPPING, *Proceeding outh East Asia Surveying Congress*.
- Rokhmana, CA. 2010. *Sistem Pemantauan Tata Ruang Kota Dengan Wahana Udara Nir-Awak Sebagai Penyedia Foto Udara Murah*, Teknik Geodesi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Rokhmana, CA, 2013. *Percepatan Pemetaan Kadaster Memanfaatkan Teknologi Wahana Udara Tanpa Awak*. Jurnal Bhumi, Yogyakarta.

- Rudianto, Bambang, 2011. *Analisis Pengaruh Sebaran Ground Control Point terhadap Ketelitian Objek pada Peta Citra Hasil Ortorektifikasi*. Jurusan Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Standard Operating Procedures Bagian II Survei Titik Kontrol*, 2012. Deputi Bidang Informasi Geospasial Dasar Pusat Pemetaan Rupabumi dan Toponim, Badan Informasi Geospasial.
- Standard Operating Procedures Bagian IV Referensi Geospasial*, 2012, Deputi Bidang Informasi Geospasial Dasar Pusat Pemetaan Rupabumi dan Toponim, Badan Informasi Geospasial.
- Sumarto Irawan, W.R.Idrus, Virgo Eresta Jaya, R. Eko, D. K. Gindow, B. Adhi, E. Putranty, E. Pintadi, P. Hadi, Y. Aziz, A. Giyanto, Rahardjo, F. H. Feryandi, I. Herawati, Firman As And S. Yusra, 2008, *Cadastral Base Mapping Activity in Indonesia, FIG Working Week 2008*, Stockholm, Sweden 14-19 June 2008.
- Wicaksono, FYE, 2009. *Apa Itu Foto Udara?*. Badan Perpustakaan dan Arsip Daerah Provinsi DIY, Yogyakarta.
- Widodo, Hery Setyo, 2012. *Perancangan dan Implementasi Kontroler PID untuk Pengaturan Heading dan Pengaturan Arah pada Fixed-Wing Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*. Jurnal Teknik ITS, Surabaya.
- Wigrata, H.. 1986. *Kalibrasi Besaran-besaran Panjang Fokus dan Distorsi Lensa pada Kamera Non-Metrik*. Skripsi Sarjana Departemen Teknik Geodesi ITB. Bandung.
- Wikipedia, 2014. *Fotogrametri*. <http://id.wikipedia.org/wiki/Fotogrametri>. 16 September 2014.
- Wikipedia, 2014, *Kalibrasi*. <http://id.wikipedia.org/wiki/Kalibrasi>. 16 September 2014.
- Wikipedia, 2014, *Indonesia*. <http://id.wikipedia.org/wiki/Indonesia#Geografi>. 16 September 2014.
- Wikipedia, 2014, *Pesawat Tanpa Awak*. [http://id.wikipedia.org/wiki/Pesawat\\_tanpa\\_awak2007](http://id.wikipedia.org/wiki/Pesawat_tanpa_awak2007). 16 September 2014.
- Wikipedia, 2015, *Simpangan baku*. [http://id.wikipedia.org/wiki/Simpangan\\_baku](http://id.wikipedia.org/wiki/Simpangan_baku). 17 Januari 2015.
- Wolf, Paul R. 1993. *ELEMEN FOTOGAMETRI Dengan Interpretasi Foto Udara dan Penginderaan Jauh, Edisi kedua*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.