

**Tinjauan Pemotretan Udara Format Kecil
Menggunakan Pesawat Model Skywalker 1680
(Studi Kasus : Area Sekitar Kampus UNDIP)**

Herjuno Gularso¹⁾, Ir. Sawitri Subiyanto, M.Si. ²⁾, L.M.Sabri, S.T., M.T ³⁾

¹⁾ Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Diponegoro

²⁾ Dosen Pembimbing I Teknik Geodesi Universitas Diponegoro

³⁾ Dosen Pembimbing II Teknik Geodesi Universitas Diponegoro

ABSTRAK

Sampai saat ini, teknologi fotogrametri terus mengalami perkembangan, baik dalam segi pengumpulan data maupun pemrosesannya. Hal ini ditandai dengan adanya teknik pengumpulan data dengan wahana tanpa awak sebagai media pembawa sensor fotogrametri. Keuntungan penggunaan teknologi tersebut adalah efektif dan efisien baik dari segi waktu dan biaya untuk pemetaan pada daerah yang tidak terlalu luas, serta dapat menghasilkan gambar yang lebih jelas, karena tinggi terbang wahana ± 300 meter di atas permukaan laut sehingga pada saat pemotretan tidak mengalami gangguan awan.

Dalam perkembangannya perangkat lunak fotogrametri terus mengalami perkembangan, pada awalnya pemrosesan data fotogrametri dilakukan secara manual, saat ini proses dapat dilakukan secara otomatis, salah satunya adalah perangkat lunak *Agisoft PhotoScan*. Perangkat lunak ini dapat mengidentifikasi titik sekutu, mosaik, dan pembuatan DSM secara otomatis. Proses kalibrasi kamera dan orientasi luar kamera juga dilakukan secara otomatis.

Penelitian ini dilaksanakan di daerah sekitar UNDIP ± 40 hektar. Sensor yang digunakan adalah kamera *non metric digital (Nikon COOLPIX S3300)*. Proses pengolahan menggunakan perangkat lunak *Agisoft PhotoScan*. Proses yang dilakukan pada perangkat lunak yaitu: *alignment* merupakan proses identifikasi titik sekutu secara otomatis, kalibrasi kamera untuk menentukan orientasi dalam kamera, hitungan *bundle adjustment* untuk menentukan orientasi luar kamera, pembuatan model geometri 3 dimensi, dan pemberian tekstur pada model. Setelah tahap pembentukan tekstur dilakukan pada seluruh foto, tahap selanjutnya adalah pemberian titik kontrol hasil pengukuran GPS *geodetic Hiper GA/GB* secara radial.

Kata Kunci : Wahana Udara Tanpa Awak, Foto Udara Format Kecil, *Agisoft PhotoScan*, Pesawat model

ABSTRACT

Until now, photogrammetry technology continues to grow, both in terms of data collection and processing. It is characterized by the presence of data collection techniques by unmanned aerial vehicle as photogrammetric sensors carrier. The advantages of using the technology is effective and efficient in terms of both time and cost for mapping in not too large area, and can result in a clearer picture, because high of flying the UAV is ± 300 meter above sea level so when capturing photo had no cloud interference.

In the development of photogrammetry software had been developed, initially photogrammetric data processing is done manually, in this time the process can be done automatically, one of them is *Agisoft PhotoScan*. The software can identify tie points, mosaics, and build DSM automatically. camera calibration and exterior orientation is also done automatically.

This research take place in UNDIP area ± 40 hectares. The sensor used is a non-metric digital camera (Nikon CoolPix S3300). Whole process uses software *Agisoft PhotoScan*. The process in the software are: alignment is the process of identifying tie point automatically, the camera calibration to determine the orientation of the camera, bundle adjustment to determine the exterior orientation of the camera, 3-dimensional geometric modeling, and giving texture to the model. After the establishment phase texture made to the entire image, the next step is give a ground control point from GPS measurements *Hiper GA / GB* radially.

Key Word : Unmanned Aerial Vehicle, Small Format Aerial Photography, Remote Control Aircraft

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya permintaan akan pemetaan suatu wilayah dalam berbagai bidang, maka semakin berkembang pula berbagai macam metode pemetaan. Dengan memanfaatkan kemajuan teknologi kamera udara, film dan pesawat, maka pekerjaan pemetaan dapat dilakukan dengan waktu yang relatif cepat dan akurasi tinggi.

Ditinjau dari efisiensi biaya pada pemetaan menggunakan metode foto udara sangat dipengaruhi oleh jenis kamera dan wahana yang digunakan. Untuk luas area yang relatif lebih kecil (± 100 ha) pemotretan menggunakan kamera metrik menjadi tidak optimal, karena biaya operasional yang dikeluarkan tidak sebanding dengan kecilnya volume pekerjaan. Hal ini memacu para fotogrametriawan untuk mengembangkan metode alternatif pemotretan udara dengan biaya relatif murah dan cukup akurat. Salah satu metode alternatif adalah penggunaan kamera standar non-metrik berformat kecil $24\text{mm} \times 35\text{mm}$ sebagai instrumen pemotretan udara, metode ini dikenal dengan *Small Format Aerial Photography* (SFAP). Kamera non-metrik yang menjadi salah satu instrumen penting pada sebuah misi pemotretan udara sejak awal bukan didesain untuk keperluan fotogrametri. Kamera non-metrik memiliki kualitas gambar yang baik namun kualitas geometriaknya kurang. Hal ini mengakibatkan penentuan posisi pada foto udara yang dihasilkan menjadi kurang akurat pula. Kualitas geometrik dari foto udara format kecil dapat ditingkatkan dengan cara melakukan kalibrasi pada kamera yang digunakan. Kalibrasi kamera merupakan proses penentuan parameter internal kamera udara, untuk selanjutnya parameter-parameter ini akan dijadikan input dalam orientasi dalam.

Proses perencanaan, pelaksanaan serta tahap akhir foto udara format kecil tidak serumit proses foto udara konvensional meskipun area cakupannya tidak begitu luas. Hal ini sangat mendukung dalam pekerjaan pemetaan, selain itu wahana yang digunakan dalam pemotretan adalah pesawat tanpa awak (UAV), sehingga dapat menjangkau daerah atau objek yang tidak dapat dijangkau oleh pesawat besar (*large aircraft*). Keuntungan ini dapat menekan biaya menjadi lebih murah. Dalam penelitian ini menjelaskan suatu alternatif sistem pemetaan dari udara yang relatif lebih murah untuk produksi peta skala besar ($1/1.000 - 1/5.000$) dengan memanfaatkan wahana udara nir-awak. Biaya rendah diperoleh dari penggunaan instrumentasi yang banyak di pasaran seperti aeromodeling dan kamera digital.

Perumusan Masalah

Permasalahan yang muncul dari latar belakang penelitian yang telah dijabarkan sebelumnya adalah sebagai berikut:

1. Apakah metode foto udara format kecil (*Small Format Aerial Photography*) dengan pesawat *aeromodelling* dapat digunakan untuk pemetaan situasi skala besar?
2. Apakah kelebihan dan kekurangan pemetaan dengan menggunakan wahana pesawat *aeromodelling* dengan wahana-wahana pemetaan *aerial photogrammetry* yang lainnya?

Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menerapkan metode *Aerial Photogrammetry* dengan menggunakan kamera digital non metrik untuk *updating* peta garis dan diolah dengan perangkat lunak *Agisoft PhotoScan versi 8.4*.
2. Analisa kelebihan dan kekurangan metode *Aerial Photogrammetry* menggunakan wahana pesawat *aeromodelling* dan kamera non metrik *NIKON Coolpix S3300 8 Megapixels*.
3. Pembuatan peta foto didaerah sekitar kampus UNDIP.
4. Efisiensi pelaksanaan *updating* (dengan titik kontrol yang minimum).

Manfaat dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberi sumbangan penelitian dan telaah pustaka untuk pengembangan ilmu yang berkaitan dengan foto udara format kecil dengan menggunakan wahana *Aeromodelling*.
2. Mendapatkan peluang penggunaan metoda alternatif yang tepat dibandingkan dengan penggunaan metoda baku yang ada yang mungkin kurang dari aspek efisiensi, kecepatan dan keekonomiannya.
3. Proses pembentukan peta foto udara dengan waktu yang efektif dan efisien akan membantu berbagai individu, instansi, dan pihak yang berkaitan dengan pemetaan jika membutuhkan data foto udara secara cepat.
4. Menambah referensi perangkat lunak untuk pengolahan foto udara.

Pembatasan Masalah

Pembatasan permasalahan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan data dilakukan di lokasi daerah sekitar kampus UNDIP.
2. Wahana yang digunakan pesawat *aeromodelling* (Skywalker) rentang sayap 1680 mm dengan perangkat *pilot assist OSD NOVA*.
3. Kamera yang digunakan adalah NIKON COOLPIX S3300 8megapixel.
4. Tidak dilakukan pengukuran arah dan kecepatan angin.
5. Proses kalibrasi kamera, *Alignment* foto, *bundle adjustment*, pemodelan geometri dan transformasi koordinat di lakukan dengan menggunakan software *Agisoft PhotoScan version 8.4*.
6. Pengukuran GCP (*Ground Control Point*) menggunakan GPS geodetik Hiper Ga/Gb yang diasumsikan sebagai data yang benar.
7. Pengolahan data GPS tidak dijelaskan dalam tugas akhir ini.

DASAR TEORI

Pengertian Fotogrametri

Definisi Fotogrametri Fotogrametri merupakan seni, ilmu, dan teknologi perolehan informasi tentang obyek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan penafsiran foto udara (Thomson dan Gruner, 1980). Istilah Fotogrametri berasal dari kata *photos* (=sinar), *gramma* (=sesuatu yang tergambar) dan *metron* (=mengukur). Secara sederhana maka fotogrametri dapat diartikan sebagai "pengukuran secara grafis dengan menggunakan sinar". Dari definisi tersebut dapat dimengerti bahwa fotogrametri meliputi (Wolf, 1983):

- Perekaman obyek (pemotretan)
- Pengukuran gambar obyek pada foto udara
- Pemotretan hasil ukuran untuk dijadikan bentuk yang bermanfaat (Peta).

Fotogrametri adalah ilmu untuk memperoleh informasi dari suatu objek melalui proses pencatatan, pengukuran, dan interpretasi fotografis dimana aspek-aspek geometrik dari foto udara seperti sudut, jarak, koordinat, dan sebagainya merupakan faktor utama. Hasil dari fotogrametri adalah foto udara.

Pemetaan fotogrametri menggunakan foto udara sebagai sumber data utamanya. Kualitas peta atau informasi yang dihasilkan sangat tergantung dari kualitas metrik maupun kualitas gambar (*pictorial quality*) sumber data tersebut. Pengadaan foto udara biasanya bertitik tolak dari tujuan peruntukannya. Ditinjau dari data yang dapat diperoleh dari foto udara, maka fotogrametri dapat dibagi menjadi dua yaitu:

a. Fotogrametri Metrik,

Fotogrametri Metrik atau metrik fotogrametri bertujuan untuk memperoleh data kuantitatif seperti jarak, sudut, luas dan posisi dari suatu objek. Untuk memperoleh data tersebut diperlukan alat-alat khusus serta pengetahuan dan keterampilan tertentu. Hal ini bertujuan untuk mengetahui hubungan matematis antara sistem foto udara dengan sistem tanah, sehingga ukuran-ukuran di foto dapat dipindahkan ke sistem tanah atau sebaliknya.

b. Fotogrametri Interpretatif,

Fotogrametri Interpretatif bertujuan untuk memperoleh data kualitatif dengan cara pengenalan, identifikasi dan interpretasi foto udara.

Wahana Udara Tanpa Awak

Wahana udara tanpa awak atau *unmanned aerial vehicle* (UAV) atau disebut juga *unmanned aerial system* adalah sistem yang pertama kali dikenalkan pada perang dunia pertama dan hingga kini telah mengalami banyak perkembangan baik dalam sektor militer maupun sektor umum. Saat ini sedang dikembangkan penggunaan UAV dalam navigasi untuk keperluan pemetaan, misalnya pemotretan udara. Pemotretan udara pada awalnya menggunakan wahana pesawat terbang dalam pengambilan datanya, dengan fisik alat yang besar untuk mobilisasi personil dan penempatan instrumennya. Penggunaan pesawat berawak akan efektif dan efisien bila luas daerah yang akan difoto lebih besar dari 7500 hektar. Maka dalam perkembangannya digunakanlah berbagai jenis wahana, seperti : wahana balon udara, wahana paralayang, wahana gantole, wahana layang-layang, wahana pesawat model (*aeromodeling*).

Sistem pemotretan udara terdiri dari dua bagian, yaitu sistem pada pesawat RC dan sistem pada *ground station*. Sistem pada pesawat RC antara lain berupa perangkat bantu navigasi dan perangkat pemotretan udara. Berikut ini instalasi perangkat yang digunakan dalam pemotretan udara pada pesawat RC (Herjuno, 2013):

1. Pesawat Skywalker 1680

Pesawat ini memiliki rentang sayap 1680mm dan memang di design khusus untuk terbang FPV (*First Person Video*) sehingga mampu membawa beban berat seperti kamera dan perangkat penunjang lainnya.



Gambar 1. Skywalker 1680

2. Antena GPS eksternal

Diletakkan di sisi atas pesawat sehingga sinyal satelit GPS tidak terhalang bagian pesawat ataupun komponen elektronik lainnya.

3. *Infrared sensor*

Sensor infrared yang sangat sensitif terhadap kemiringan pesawat. Berguna untuk membantu pilot untuk menstabilkan pesawat sehingga pesawat berada keadaan level (*pilot assist*).

4. 100A *current sensor*

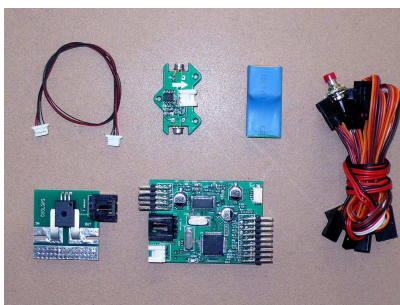
Sensor ini berguna untuk mengetahui voltase baterai LIPO yang digunakan secara *real time* pada saat terbang.

5. Mikro kamera

Membidik ke arah depan - bawah dari pesawat RC untuk mengetahui obyek yang akan dilewati di bawah pesawat pada saat melakukan pemotretan udara.

6. *Nova OSD (On Screen Display)*

Penerima sinyal video dari mikro kamera, sinyal GPS dari antena GPS, *current sensor* dan sinyal dari sensor infrared yang kemudian OSD terhubung dengan video *transmitter*. Hasil *output* OSD adalah tampilan video dari bidikan mikro kamera dengan parameter posisi, kecepatan, arah dan jarak terhadap tempat takeoff (*home*) dan ketinggian GPS navigasi dari antena GPS.



Gambar 2. Perangkat NOVA OSD (*GPS, current sensor, infrared sensor*)

7. Video *transmitter* (video Tx) 5,8 GHz

Penerima sinyal video dari OSD dan dikirimkan secara *wireless* ke video *receiver* (video Rx) di *ground station*.

Berikut ini instalasi perangkat pengendali terbang pesawat RC yang berada di *ground station*:

1. *Clover leaf* antena 5,8 GHz dan video *receiver*

Antena dan video *receiver* adalah perangkat penerima sinyal yang dipancarkan oleh video *transmitter* di atas pesawat. Untuk menghindari sinyal yang diterima lemah atau hilang, antena diletakkan di area terbuka yang dapat di arahkan secara langsung ke pesawat penerbangan.

2. Tv Tuner

Perangkat ini digunakan sebagai penerima sinyal video yang ditangkap oleh video rx agar dapat dilihat pada laptop.

3. Seperangkat Laptop

Dihubungkan dengan *Tv Tuner* untuk menampilkan *live view* video yang terekam mikro kamera di atas pesawat RC dengan menampilkan parameter kecepatan, ketinggian, arah dan jarak terhadap tempat takeoff (home) dan posisi GPS. Berikut ini *capture* video pada layar TV *portable* hasil *output* perangkat OSD.



Gambar 3. Capture pertampalan *live view* videodengan parameter GPS

4. Radio transmitter

Pada pesawat ini menggunakan 2 buah sistem kemudi (*transmitter*) yang pertama untuk mengendalikan laju pesawat dan yang kedua untuk mengontrol mikro kamera dan kamera digital. Lima dari 8 *channel* radio *transmitter* pada sistem kemudi pesawat digunakan untuk mengontrol secara *wireless* gerakan tiap servo sesuai instalasi servo pada radio *receiver*. Gambar 4 berikut ini menunjukkan fungsi *stick* kontrol radio *transmitter* yang digunakan dalam pemotretan udara (sistem kendali pesawat) dan gambar 5 untuk sistem kendali kamera.



Gambar 4. Fungsi kerja *stick* kontrol pada radio *transmitter* 8 *channel* (sistem kendali pesawat)



Gambar 5. Fungsi kerja *stick* kontrol pada radio *transmitter* 7 *channel* (sistem kendali kamera)

PELAKSANAAN PENELITIAN

Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan antara lain :

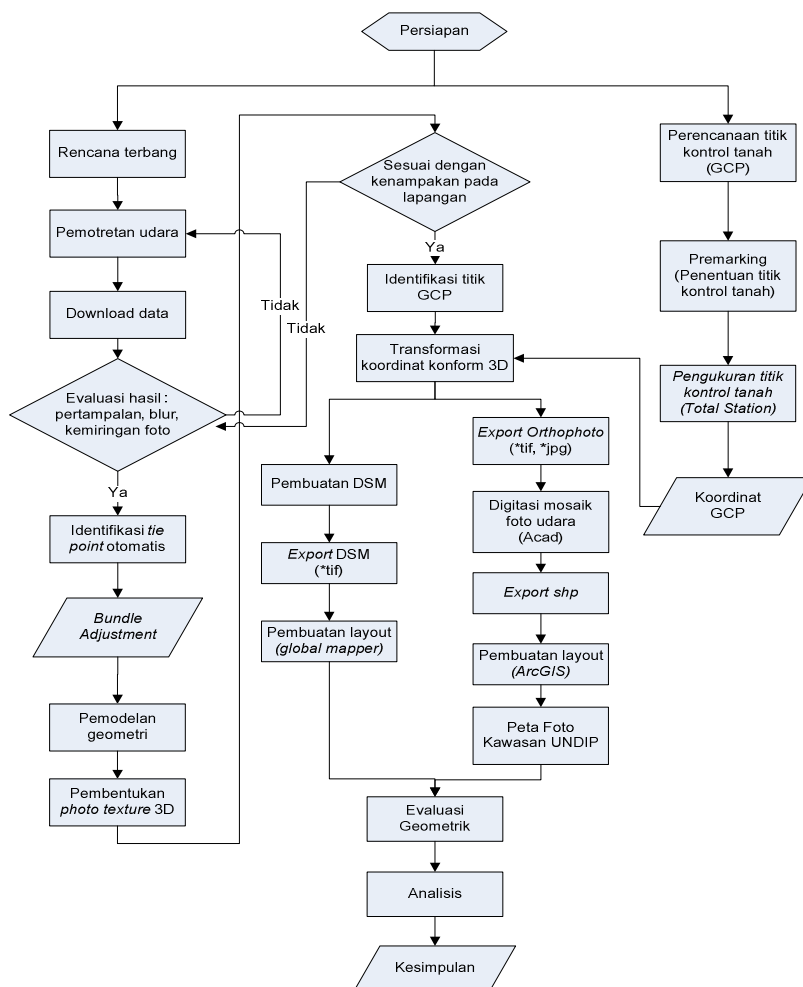
- a. Hasil pengambilan foto udara dengan menggunakan pesawat aeromodelling.
- b. Citra Google Earth Universitas Diponegoro.
- c. Data *ground control point* dari GPS Geodetik.

Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian Tugas Akhir ini adalah area sekitar UNDIP

Metodologi Penelitian

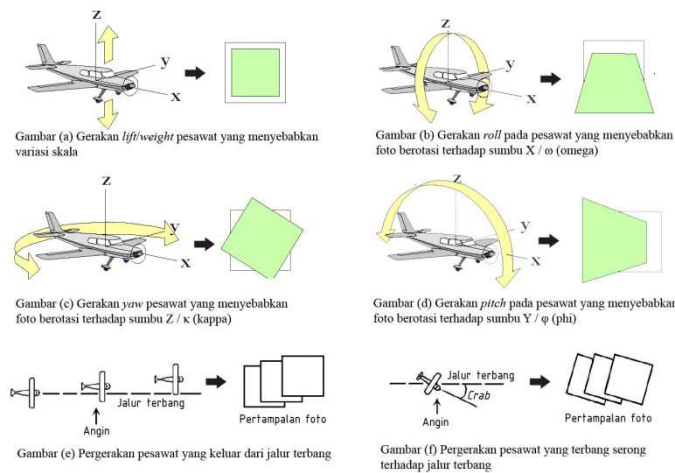
Tahapan pekerjaan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alur berikut ini:



Gambar 6. Diagram Alur Penelitian

Pemotretan Udara

Pemotretan dengan menggunakan pesawat model sangat dipengaruhi oleh cuaca seperti angin dan suhu sehingga terbang menjadi kurang stabil, selain itu cakupan waktu terbang juga terbatas (berkisar 15 sampai 20 menit). Oleh karena itu dalam pemanfaatan pesawat model perlu diketahui karakteristik terbang pesawat dan kondisi cuaca yang baik sehingga pemotretan udara menjadi efektif dan efisien serta menghasilkan data foto digital dengan kondisi baik.



Gambar 7. Bentuk-bentuk pergerakan pesawat di udara dan pengaruhnya terhadap foto yang dihasilkan

Download Data

Pada saat pesawat *landing*, data foto udara harus segera di *download* dari kamera. Hal ini untuk mengetahui ada tidaknya foto yang kurang jelas dan ada tidaknya daerah yang belum terpotret

Evaluasi Hasil

Pengecekan foto untuk mengetahui adanya kegagalan pemotretan udara yang diakibatkan dari faktor teknis kamera yang tidak dalam posisi hidup karena kerusakan kamera yang disebabkan oleh efek dari getaran yang terlalu besar dari pesawat, cuaca ataupun faktor dari kamera itu sendiri. Faktor-faktor tersebut sangat mempengaruhi kualitas foto yang dihasilkan oleh kamera seperti adanya *gap*, gambar berbayang, gambar tidak fokus (*blur*) adanya foto yang tidak bertampalan secara maksimal, dan kondisi foto sangat miring yang disebabkan posisi pesawat model yang tidak stabil.

Alignment Foto

Alignment foto merupakan tahap awal pengolahan foto digital pada perangkat lunak *Agisoft PhotoScan*. Pada tahap ini dilakukan proses identifikasi *tie point* secara otomatis dengan menggunakan algoritma *SIFT invariant*. Algoritma ini akan mengenali titik-titik yang mempunyai kesamaan nilai *pixel* dan akan membentuknya menjadi model tiga dimensi. Hasil dari proses *alignment* diantaranya adalah parameter kalibrasi kamera atau *internal orientation* (IO), bentuk kumpulan *tie point* terdeteksi dalam model 3D, dan posisi kamera saat pemotretan atau *external orientation* (EO) yang melibatkan hitungan *bundle adjustment*.

Sebelum proses *alignment* dilakukan, terlebih dahulu memilih tingkat kerapatan *point cloud* yang diinginkan, apakah *high*, *low*, atau *medium*. Pada setiap *point cloud* akan memiliki posisi, dan derajat kecerahan masing-masing. Posisi *point cloud* tersebut saling terorientasi relatif antar titik, dan masih dalam sistem koordinat model.

Pemodelan Geometri

Setelah proses pembentukan *point cloud*, tahap selanjutnya adalah pembuatan model geometri. Pada pemodelan geometri dilakukan perapatan *image* di sekitar *tie point* dan penggabungan antar titik berdasarkan nilai tingginya. Pemodelan geometri belum menampilkan kondisi *image* yang sebenarnya dan masih terlihat kasar serta *texture* foto yang belum terbentuk.

Pembentukan Tekstur Foto 3D

Setelah proses pembentukan geometri, maka dapat dilakukan proses *rendering* foto, yaitu memberikan tekstur foto pada *surface element*, yaitu hasil pemodelan geometri yang telah dibentuk pada proses sebelumnya. Pada tahap ini dibentuklah jaring-jaring segitiga (TIN), sehingga *terain* dan *surface* terlihat lebih halus.

Identifikasi Titik Kontrol (*Ground Control Point*)

Titik kontrol yang digunakan berupa titik patok yang telah dipasang *premark* dengan lebar 15 cm dan panjang 1 m yang bergeoreferensi pada datum WGS 84 dan sistem koordinat *Universal Transverse Mercator Zona 49South* (UTM 49 S).



Gambar 8. *Ground Control Point*

Transformasi Koordinat Konform 3D

Transformasi koordinat konform 3D merupakan proses membawa sistem kordinat modelke dalam sistem koordinat tanah denganmempertahankan bentuk yang sebenarnya, disebut juga orientasi absolut. Untuk membawa sistem koordinat model ke sistem koordinat tanah dibutuhkan titik *fix* pada area survey. Titik *fix* atau *ground control point* akan lebihbaik jika persebarannya merata tapi pada penelitian ini lebih menekankan ketelitian pada daerah sekitar sungai.

Export Orthophoto

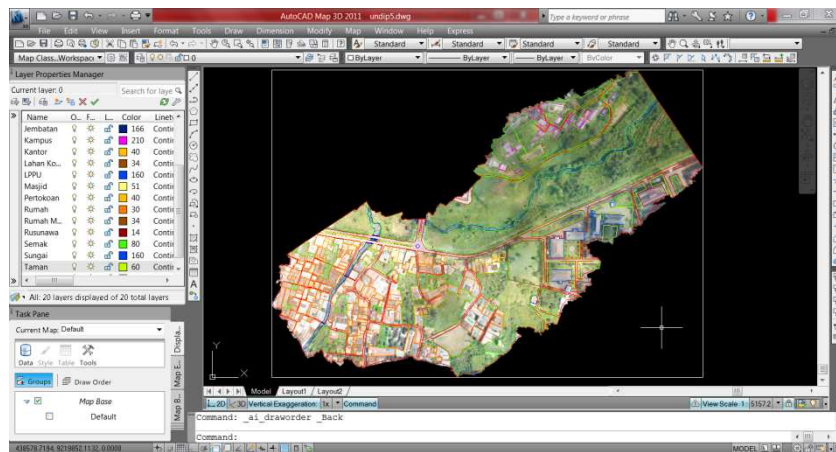
Pada pengukuran ini dilakukan *export* ke dalam format (**tif*), tujuannya adalah untuk digitasi *on-screen* pada *AutoCAD Map 3D 2011* dan pembuatan *Layout* dalam *ArcGIS 9.3*.

Export DSM

Pada tahap ini dilakukan *export projectAgisoft PhotoScan* format (**psz*) menjadi format *TIFF/GeoTiff(*tif)* yang telah bergeoreference.

Digitasi Mosaik Foto Udara

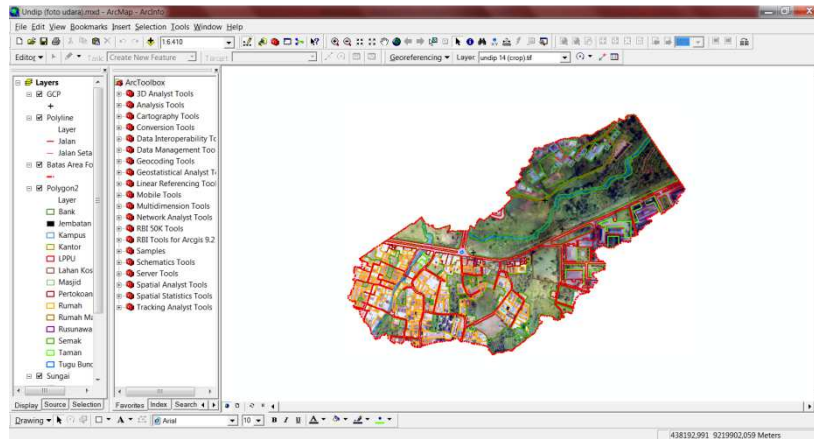
Setelah didapat hasil dari proses *orthophoto* pada *software Agisoft Photoscan* maka selanjutnya adalah proses digitasi pada mosaik foto udara dengan menggunakan *software Autocad Map 3D 2011*. Proses ini bertujuan agar informasi-informasi yang terdapat pada mosaik foto udara dapat terlihat dengan jelas dan dapat digunakan semua orang. Sehingga tidak hanya sekedar foto yang tidak memiliki informasi apapun. Berikut adalah hasil digitasi *on-screen* pada *software AutoCAD Map 3D 2011*.



Gambar 9. Hasil digitasi mosaik foto udara

Kartografi Peta Foto

Hasil akhir dari pemotretan dan pengukuran ini adalah pembuatan peta foto. Pada peta foto dilakukan perubahan skala foto ke skala yang dikehendaki dengan jalan pembesaran atau pengecilan skala. Informasi tentang judul, nama tempat, nama pembuat, arah utara, grid, nama intansi pembuat dan data lain akan ditampilkan pada foto tersebut, dengan cara serupa seperti yang dilakukan pada pembuatan peta pada umumnya pada *software ArcGIS 9.3*.



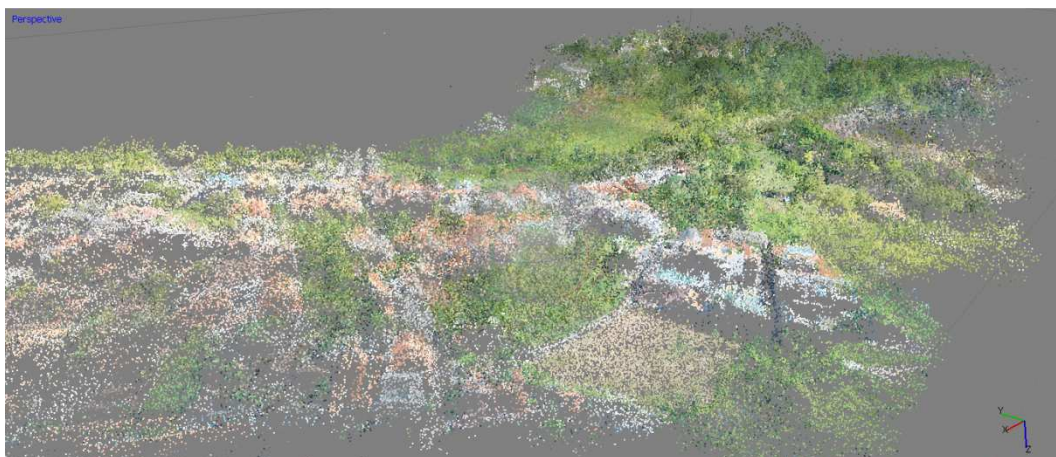
Gambar 10. Hasil export data (.shp)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Proses Pengolahan Foto Udara

Tahap *alignment* merupakan tahap dimana dilakukan pendefinisian atau identifikasi *tie point* secara otomatis melalui nilai kesamaan piksel pada image. Proses *alignment* menghasilkan gambar yang membentuk *points cloud* pada foto-foto yang memiliki hubungan pada *overlap* dan *sidelap*. Titik tidak terbaca jika kenampakan suatu objek berbeda pada foto yang saling bertampalan, hal ini dapat terjadi jika adanya *blur* pada foto, atau kondisi cuaca pada saat pemotretan berbeda-beda, sehingga nilai piksel tersebut mengandung *noise*.

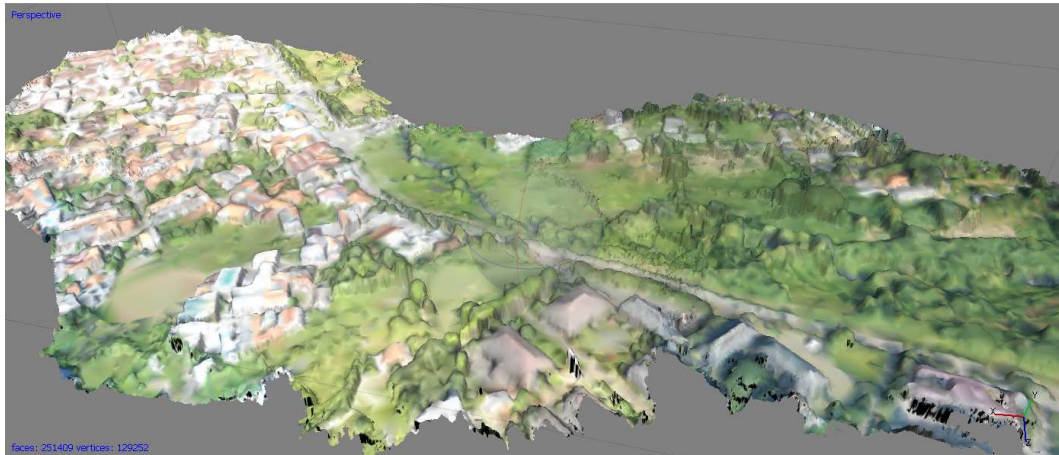
Koordinat hasil *alignment* masih dalam sistem koordinat model, karena antar *point cloud* masih terorientasi secara relatif antar titik.



Gambar 11. Hasil proses alignment

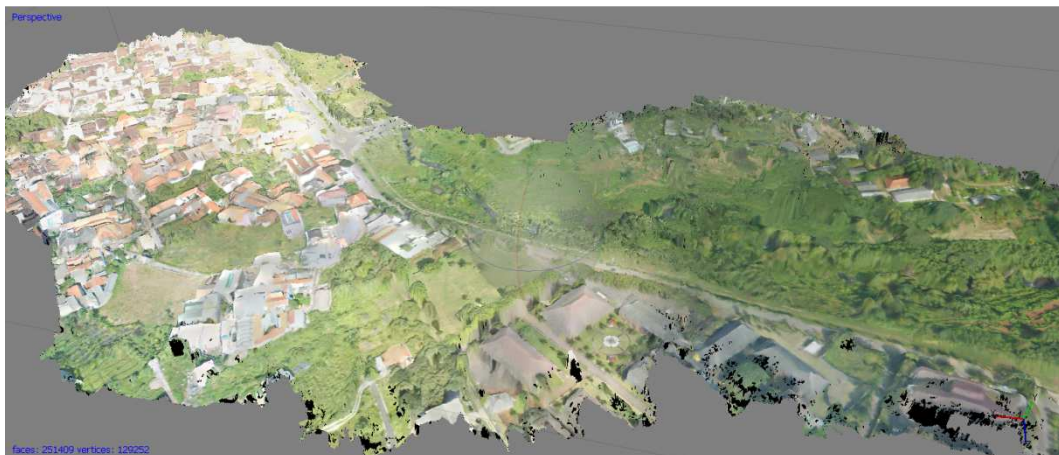
Build geometry adalah tahapan dimana dilakukan proses *orthophoto*. *Orthophoto* adalah pembuatan foto yang telah melalui proses ortorektifikasi, dimana foto telah menyajikan gambaran obyek pada posisi ortografik yang benar. Proses ortorektifikasi dilakukan secara otomatis oleh program. Ortorektifikasi ini digunakan untuk menghapus efek kemiringan sumbu dan hasilnya berupa ekivalen foto tegak. Karena pergeseran letak gambar sehubungan dengan perubahan relief, ekivalen foto tegak masih mengandung skala yang tidak seragam. Di dalam proses peniadaan pergeseran letak oleh relief pada sembarang foto, variasi skala juga dihapus sehingga skala menjadi sama bagi seluruh foto. Pada *software Agisoft PhotoScan* hasil daripembentukan geometri adalah penggabungan antar titik berdasarkan nilai tingginya.

Objek yang awalnya belum terdeteksi pada tahap *alignment*, akan terbentuk pada tahap ini. Geometri terbentuk oleh jaringan segitiga (TIN). TIN (*Triangular Irregular Network*) adalah representasi ketinggian yang dihasilkan dari masspoint/ spotheight yang berupa node, yang dibentuk membentuk jaring segitiga.



Gambar 12. Hasil *build geometry*

Build texture merupakan tahapan dalam memberikan tekstur foto pada *surfaceelement*, yaitu hasil pemodelan geometri yang telah dibentuk pada proses sebelumnya. Pada tahap ini jaring-jaring segitiga (TIN) akan diperhalus, sehingga *terain* dan *surface* terlihat lebih halus.



Gambar 13. Hasil *build texture*

Jika pada hasil akhir yaitu pemodelan tekstur 3D, kondisi ortofoto masih kurang baik, misalnya ada daerah hitam (*black spot*), bentuk geometri (bangunan, pohon) yang tidak sempurna. Hal ini dapat dikarenakan beberapa faktor, yaitu:

1. Foto mengandung *noise*, seperti: foto terlalu sendeng, tingkat kecerahan yang tidak baik, dan foto tidak bertampalan sempurna.
2. Kondisi cuaca yang sangat berbeda antar foto.
3. Perbedaan tinggi terbang yang terlampaui jauh (>100m).
4. Identifikasi *tie-point* yang tidak terdeteksi.
5. Pengaturan akurasi yang rendah pada tahap pemrosesan foto.
6. Foto kurang lengkap.
7. Rendahnya resolusi.

Solusi untuk dapat menghilangkan kesalahan pada saat pemrosesan data antara lain:

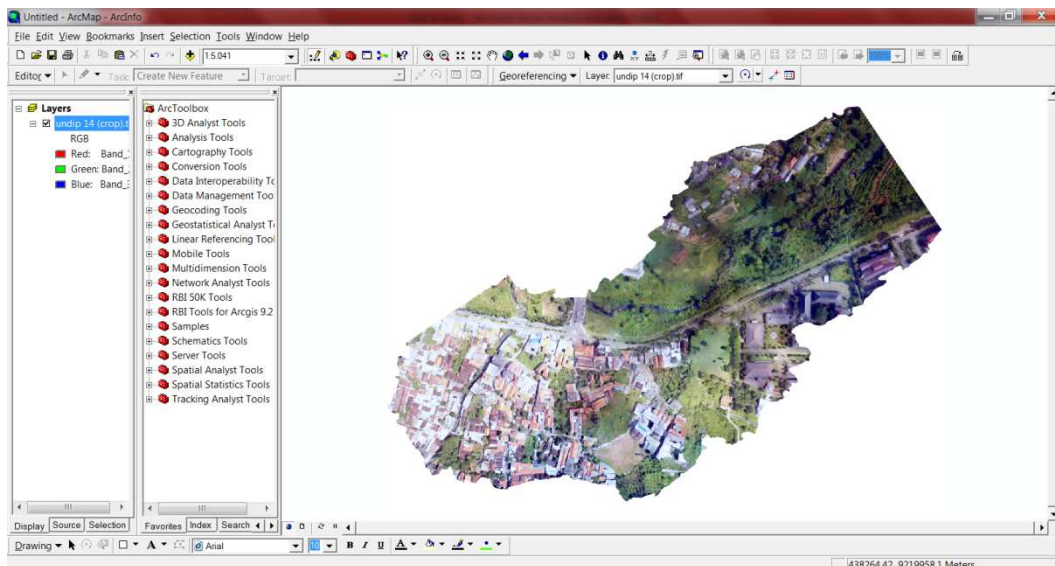
1. Pengulangan pada *alignment* dengan menaikkan tingkat akurasi.

2. Pengulangan pada proses pemodelan geometri.
3. Pengulangan pada proses pembentukan *texture*.
4. Kecermatan dalam pemilihan foto.
5. Penambahan atau pengurangan foto.

Penambahan foto dilakukan jika hasil pemrosesan masih terdapat daerah yang kosong atau objek yang belum terbentuk secara sempurna.

Hasil Mosaik Foto Udara

Mosaik yang dihasilkan pada tahap ini dalam format file (*.tif). Sambungan dari mosaik yang dihasilkan tidak terlalu terlihat. Ukuran piksel dari mosaik yang dihasilkan adalah bernilai 0.1 m. Jika dilakukan perbesaran gambar untuk beberapa kali terlihat gambar menjadi pecah, hal ini dikarenakan nilai piksel yang digunakan cukup besar. Pemilihan nilai piksel tergantung pada tujuan penggunaan mosaik. Semakin kecil nilai piksel maka semakin tinggi kualitas gambar yang dihasilkan. Dari analisis di atas dapat dikatakan bahwa kualitas visual mosaik melalui pengolahan menggunakan *software Agisoft PhotoScan Versi 8.4* dengan spesifikasi *low* yang dihasilkan cukup baik untuk skala menengah tetapi untuk beberapa detail seperti pepohonan dan tiang listrik memiliki geometri yang buruk karena kamera yang digunakan kurang memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan sehingga foto yang diambil kurang baik dan ukuran pikselnya terlalu besar sehingga kurang mewakili daerah yang di foto. Semua kesalahan tersebut juga dapat diminimalisir dengan mengulang pengolahan foto dengan meningkatkan kualitas pemrosesan menjadi *medium*, *high* atau *ultra high*.



Gambar 14. Hasil mosaik foto udara

Evaluasi Geometrik Mosaik Foto Udara dan DSM

Evaluasi geometrik foto udara dilakukan dengan membandingkan jarak dan tinggi atau ukuran suatu gedung pada mosaik foto udara yang telah di rektifikasi menggunakan titik *ground control point* dalam sistem koordinat UTM zona 49S dengan citra *google earth* dan jarak sebenarnya di lapangan menggunakan meteran.

Berikut ini tabel sampel 5 dari 30 titik hasil perbandingan jarak pada foto udara dan pengukuran di lapangan.

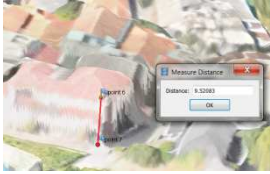


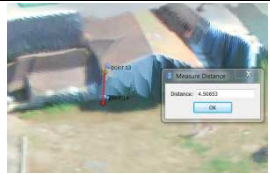

Tabel 1. Perbandingan jarak antara ukuran pada mosaik foto udara, citra *google earth* dan pengukuran dilapangan

no	Foto Udara (meter)	Citra <i>Google Earth</i> (meter)	Lapangan (meter)	Selisih FU	Selisih Citra
1.			6,14	0,1305	1,04
2.			5	-0,0754	-0,54
3.			19,4	0,1179	-0,77
4.			17,26	-0,3581	-2,9
5.			52,2	-2,2086	1,83

Dari beberapa sampel diatas dapat dilihat bahwa kesalahan terkecil terdapat pada daerah di pertokoan sekitar bundaran tugu dengan kesalahan jarak $-0,0754$ meter dan kesalahan terbesar terdapat pada lokasi rusunawa UNDIP dengan kesalahan jarak sebesar $-2,2086$ meter dari jarak sebenarnya. Hasil dari *mosaic* foto dengan wahana udara tanpa awak memiliki segi planimetrik yang cukup baik pada daerah perumahan, pertokoan dan jalan tetapi pada daerah tertentu seperti pada rusunawa UNDIP memiliki geometrik yang buruk dikarenakan pengambilan foto yang kurang sempurna dan pengolahan foto menggunakan pemrosesan berspesifikasi rendah sehingga menghasilkan mosaik yang kurang baik pada beberapa daerah. Penentuan letak *Ground control point* juga sangat mempengaruhi kualitas mosaik dan geometri yang dihasilkan.

Untuk pengukuran tinggi pada foto udara dilakukan pengambilan sampel dari DSM yang telah terbentuk dan pengukuran tinggi dilapangan menggunakan meteran.

Tabel 2. Perbandingan tinggi antara ukuran pada DSM dan pengukuran di lapangan

No	Foto Udara (meter)	Lapangan (meter)	Selisih (meter)
1.		9,92	0,39917
2.		6,32	0,51273
3.		5,98	0,41607
4.		4,83	0,32147
5.		3,56	0,5133

Dari pengukuran tinggi yang dilakukan kesalahan terbesar adalah 0,5133 meter dan kesalahan terkecil adalah 0,32147. Dari hasil pembentukan DSM mosaik foto udara menghasilkan geometrik yang cukup baik.

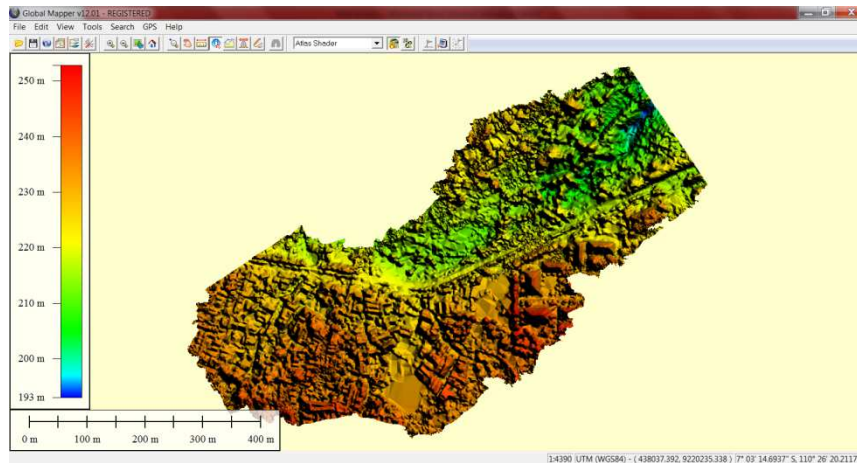
Setelah dilakukan evaluasi geometrik pada 30 titik pengambilan sampel pada foto udara, citra *google earth* dan lapangan maka dapat disimpulkan bahwa peta foto yang dihasilkan dari pemotretan udara menggunakan wahana pesawat tanpa awak memiliki kualitas planimetrik yang cukup baik pada daerah-daerah yang terletak dekat dengan titik *ground control point*. Sedangkan daerah yang terletak jauh dari *ground control point* memiliki kesalahan yang jauh lebih besar karena kesalahan dari distorsi kamera, pergeseran relief dan pembuatan mosaik kurang terkoreksi secara sempurna.

Citra *google earth* sebagai data perbandingan dari data foto udara, tidak dapat dijadikan sebagai data acuan untuk penentuan jarak pada peta foto ini dikarenakan jarak yang dihasilkan memiliki selisih yang cukup besar dengan data pada foto udara maupun di lapangan.

Untuk DSM yang dihasilkan memiliki akurasi ketinggian yang cukup baik. Tetapi untuk beberapa daerah DSM yang terbentuk kurang mewakili daerah yang sebenarnya dikarenakan pengolahan foto pada tahap *alignment* dan *build geometry* menggunakan kualitas minimum.

Hasil Export DSM

Dalam pemrosesan foto udara dengan menggunakan *software Agisoft* ini juga dilakukan pembentukan geometri yang akan menghasilkan DSM. Berikut ini akan ditampilkan hasil dari *build geometry* yang menghasilkan DSM.

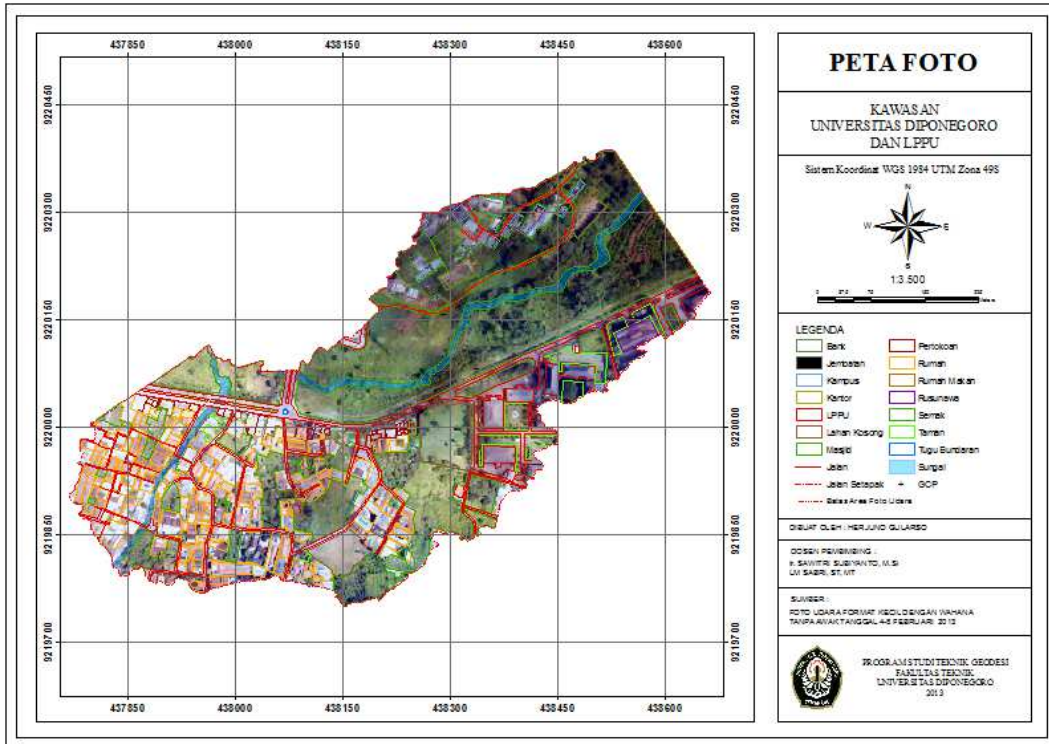


Gambar 15. Hasil export DSM

Dapat dilihat pada gambar diatas ada beberapa daerah yang bentuk geometrinya kurang sesuai dengan kondisi dilapangan seperti atap rumah yang tidak terbentuk sempurna. Ini dikarenakan resolusi kamera yang kurang tinggi dan variasi tinggi terbang yang besar sehingga menyebabkan identifikasi *tie point* dan pembentukan geometri yang kurang sesuai dengan kondisi yang sebenarnya.

Peta Foto Kawasan UNDIP

Hasil yang ditujukan dalam tugas akhir ini adalah pembuatan peta foto dengan data foto yang diperoleh dari pemotretan fotogrametri jarak dekat menggunakan wahana tanpa awak. Peta foto dihasilkan setelah dilakukan beberapa proses diantaranya adalah koreksi orientasi dalam kamera, koreksi orientasi luar kamera, transformasi koordinat model ke dalam koordinat tanah, dan membuat mosaik foto udara. Pembuatan layout peta dilakukan menggunakan *software ArcGis 9.3*, pada sistem koordinat *Universal Transverse Mercator Zona 49South* (UTM 49 S). Informasi peta, grid, sumber peta, dan keterangan lainnya seperti pada pembuatan peta pada umumnya.



Gambar 16. Peta foto kawasan UNDIP



Gambar 17. Hasil overlay dengan google earth

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari evaluasi geometrik citra diperoleh kesalahan terkecil terdapat pada daerah pertokoan di sekitar bundaran tugu dengan kesalahan jarak sebesar $-0,0754$ meter dan kesalahan terbesar terdapat pada lokasi rusunawa UNDIP dengan kesalahan jarak sebesar $-2,2086$ meter dari jarak sebenarnya. Untuk kesalahan tinggi terkecil sebesar $0,32147$ dan kesalahan tinggi terbesar adalah $0,5133$. Maka *mosaic* tersebut memenuhi ketelitian untuk skala 1:5000. Syarat toleransi diperoleh dari $0,5$ dikalikan dengan skala, diperoleh toleransi $2,5$ meter.
2. Hasil dari pengukuran jarak di lapangan dan foto udara menghasilkan selisih jarak minimum pada daerah yang berada dekat dengan *ground control point* ($<200\text{m}$) sedangkan selisih jarak maksimum berada pada daerah yang jauh dari *ground control point* ($>200\text{m}$).
3. Pemotretan foto udara menggunakan kamera *Nikon COOLPIX 3300* menghasilkan resolusi foto yang kurang baik karena hampir dari keseluruhan foto tidak fokus dan *blur* dikarenakan spesifikasi dari kamera yang tidak mencukupi.

Saran

Beberapa saran setelah penelitian ini dilaksanakan dan berguna untuk penelitian selanjutnya supaya lebih baik lagi, antara lain :

1. Proses pengolahan dengan melibatkan banyak foto, sebaiknya menggunakan CPU atau laptop dengan spesifikasi yang tinggi. *Harddisk* kurang lebih 500 GB , *RAM* di atas 10 GB dan *graphics hardware Nvidia geforce 8xxx* atau lebih.
2. Penggunaan *software* perlu diperhatikan untuk proses mosaik pada area yang terdapat bangunan tinggi, hutan heterogen, pohon tinggi, karena bentuk maupun tekstur dapat berubah tidak sesuai dengan keadaan sebenarnya. Hal ini dapat dihilangkan dengan melakukan proses yang cermat dan berulang.
3. Pada perencanaan pemotretan udara menggunakan wahana udara tanpa awak sebaiknya membuat *ground control point* sebanyak mungkin untuk meminimalisasi kesalahan geometrik akibat distorsi kamera.
4. Pengambilan foto sebaiknya menggunakan kamera digital berspesifikasi tinggi dan ringan sehingga pengaturan *shutter speed*, bukaan lensa dan fokus bisa diatur secara manual. Sehingga foto dan mosaik yang dihasilkan jauh lebih baik.
5. Untuk pemotretan menggunakan wahana udara tanpa awak sebaiknya didampingi oleh orang yang telah ahli dalam bidang *aeromodelling*, elektronika dan pemotretan foto udara dengan UAV karena sangat banyak kesulitan yang akan dijumpai pada saat perakitan hardware dan pada saat penerbangan untuk pengambilan data. Dibutuhkan jam terbang yang cukup untuk bisa menghasilkan foto dan penerbangan yang sesuai dengan perencanaan.
6. Sebaiknya menggunakan *system Autopilot* yang bisa mengoreksi gerakan *tilt* dan *roll* pesawat dan *altitude hold* agar wahana selalu berada pada posisi level (datar) selama penerbangan dan bisa mempertahankan ketinggian sehingga didapatkan foto yang tegak lurus dan skala yang cenderung sama (variasi skala kecil).
7. Jangan melakukan pemotretan dengan metode *burst shot* karena metode ini akan secara otomatis *re-size* ukuran pixel untuk mendapatkan waktu pengambilan foto secara cepat (dibawah 1 detik).
8. Untuk penerbangan dengan cakupan daerah yang lebih luas dianjurkan menggunakan *transmitter* dan *video tx* dengan frekuensi rendah ($<1\text{Ghz}$) dan watt yang lebih besar (1watt) agar bisa menjangkau daerah yang lebih jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- Wolf, P., R. 1993, *Elemen Fotogrametri dengan Interpretasi Foto Udara dan Penginderaan Jauh*, Penerjemah: Gunadi, Gunawan, T., Zuharnen, Edisi kedua, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Sudarsono, Bambang. 2008. *Pemetaan Fotogrametri*, Buku Ajar. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Soeta'at. 1994. *Fotogrametri Analitik*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada
- Anonim, 2003, *Forces in Flight*, (<http://adamone.rchomepage.com/design.htm>, diakses tanggal 2 Oktober 2012 pukul 17.25).
- Anonim, 2011, *Agisoft PhotoScan User Manual*, (<http://www.agisoft.ru/products/photoscan/standard/>, diakses tanggal 2 Oktober 2012 pukul 20.22).
- Rokhmana, Catur Aris. 2010. *Sistem Pemantauan Tata Ruang dengan Wahana Udara Nir-Awak Sebagai Penyedia Foto Udara Murah*. Makalah. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
- Abdelhafiz, A., 2009, *Integrating Digital Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning*. Dissertation, Munchen: Deutsche Geodatische Kommission Bei Der Bayerischen Akademie Der Wissenschaften.
- Harjanto, Giri Indra. 2012. *Pembuatan Peta Foto Menggunakan Wahana Udara Tanpa Awak Lokasi Minas Provinsi Riau PT. Chevron Pascific Indonesia*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Geodesi, Universitas Gajahmada
- Kuncoro, Andreas. 2010. *Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat Untuk Pemodelan Bangunan*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Geodesi, Universitas Diponegoro.
- Rahma, Nuraini. 2007. *Studi Penggunaan Kamera Digital Low-Cost Non-Metrik Auto-Focus Untuk Pemantauan Deformasi*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Geodesi, Universitas Gadjah Mada.
- 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, Catur Aris. 2010. *Membangun Sistem Pemetaan dari Udara Berbiaya Rendah Dengan Wahan Udara Nir-Awak Mini*. Jurnal Ilmiah Geomatika vol.16 no.1, Agustus 2010.
- Clark, A.F., J. C. Woods and O. Oechsle , 2010, *A LOW-COST AIRBORNE PLATFORM FOR ECOLOGICAL MONITORING*, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII, Part 5, Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK. 2010.
- Muhammad, Rio. 2008. *Studi Perbandingan Ketelitian Planimetris Foto Udara Format Kecil Dengan Citra Satelit Resolusi Tinggi (Quickbird)*. Karya Ilmiah. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rahmanto Bowo. 2009. *Pembuatan DEM dari Foto Udara Format Kecil (Small Format)*. (<http://boworahmanto.blogspot.com/2009/01/pembuatan-dem-dari-foto-udara-format.html>, diakses tanggal 2 Oktober 2012 pukul 23.18)