

ANALISIS KETELITIAN PLANIMETRIK ORTHOFOTO PADA TOPOGRAFI PERBUKITAN DAN DATAR BERDASARKAN KUANTITAS TITIK KONTROL TANAH

Hanif Arafah Mustofa, Yudo Prasetyo, Hani'ah^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : hanifam44@yahoo.com

ABSTRAK

Data dasar yang digunakan untuk pekerjaan pemetaan skala besar pada umumnya adalah citra satelit dengan resolusi spasial yang tinggi. Salah satu alternatif untuk pengadaan data dasar dalam pemetaan skala besar adalah metode fotogrametri, di mana dalam beberapa tahun ini metode fotogrametri sedang berkembang pesat dengan adanya teknologi pesawat tanpa awak. Salah satu produk yang dihasilkan dari metode ini adalah orthofoto. Orthofoto merupakan data dasar yang bisa digunakan untuk pemetaan skala besar karena memberikan gambaran permukaan bumi. Elemen terpenting yang perlu diperhatikan dalam pembuatan orthofoto ini adalah ketelitian planimetrik. Berdasarkan penelitian terdahulu, faktor yang paling berpengaruh terhadap ketelitian planimetrik orthofoto adalah Titik Kontrol Tanah (TKT).

Penelitian ini akan dianalisis ketelitian planimetrik orthofoto berdasarkan kuantitas TKT. Kuantitas yang dimaksud di sini meliputi banyaknya TKT dan pola persebaran antar TKT tersebut. Banyaknya TKT yang digunakan pada penelitian ini adalah 5 TKT dan 10 TKT. Pola persebaran antar TKT tersebut meliputi pola rapat dan pola menyebar di mana jarak antar TKT pada pola rapat merupakan setengah dari pola menyebar. Kemudian, penelitian ini dilakukan pada topografi perbukitan dan datar. Sehingga didapatkan desain dengan 8 model berdasarkan jumlah TKT, pola persebaran TKT, dan variasi topografi.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa faktor yang paling berpengaruh secara signifikan terhadap ketelitian planimetrik orthofoto adalah pola persebaran TKT. Pola persebaran TKT dengan pola menyebar, di mana persebaran antar TKT yang terletak dekat dengan batas area penelitian merupakan orthofoto yang memiliki ketelitian yang tinggi ditunjukkan dengan nilai RMSE yang kecil.

Kata Kunci : Ketelitian Planimetrik, Orthofoto, Titik Kontrol Tanah

ABSTRACT

The data base used for large scale mapping generally is satellite imagery with high spatial resolution. One of the alternatives for large scale mapping is photogrammetry method, when in recent years of photogrammetry method is growing rapidly with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology. One of the products to result from this method is orthophoto. Orthophoto is the basic data that can be used for large scale mapping for their representation of the earth's surface. The most important element to consider in making this orthophoto is planimetric accuracy. Based on earlier research, the factor that most influence the planimetric accuracy of orthophoto is Ground Control Point (GCP).

This research will be analyzed planimetric accuracy of orthophoto based on the quantity of GCP. The quantity referred to number of GCP and distribution pattern of GCP. Number of GCP used in this research are 5 GCPs and 10 GCPs. Distribution pattern GCP include close GCP and spread GCP which the distance between of close GCP is a half from spread GCP. Then, this research will be held on hill and flat topography. So we get 8 models based on quantity of GCP, distribution of GCP and variation on topography.

The result in this research indicated that the factors that most significantly affect the planimetric accuracy of orthophoto is distribution of GCP. The distribution of GCP that spread pattern of GCP which of each GCP is close to boundary of the research area that orthophoto is high accuracy demonstrated with a small of RMSE values.

Keywords : Ground Control Point, Orthophoto, Planimetric Accuracy

^{*)} Penulis, PenanggungJawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Kebutuhan informasi spasial semakin mendesak seiring dengan pembangunan yang berkelanjutan. Pada umumnya, data dasar yang digunakan untuk pekerjaan pemetaan skala besar adalah citra satelit dengan resolusi spasial yang tinggi. Pengadaan data untuk citra satelit tentunya membutuhkan dana yang cukup besar. Salah satu alternatif untuk pengadaan data dasar dalam pemetaan skala besar adalah dengan metode fotogrametri, di mana saat ini fotogrametri telah berkembang pesat dengan adanya pesawat tanpa awak.

Salah satu produk yang dihasilkan dari metode fotogrametri ini adalah orthofoto. Orthofoto merupakan data dasar yang bisa digunakan untuk pembuatan peta garis, karena menampilkan gambaran permukaan bumi.

Elemen terpenting yang perlu diperhatikan dalam pembuatan orthofoto ini adalah ketelitian planimetrik. Berdasarkan penelitian terdahulu, pada umumnya faktor yang sangat berpengaruh terhadap ketelitian planimetrik orthofoto/citra adalah GCP (*Ground Control Point*)/TKT (Titik Kontrol Tanah).

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dikaji ketelitian planimetrik orthofoto berdasarkan kuantitas TKT. Kuantitas yang dimaksud di sini meliputi jumlah dan pola sebaran TKT. Jumlah TKT yang akan digunakan pada penelitian ini dikerucutkan menjadi 5 TKT dan 10 TKT dengan pola sebaran rapat dan menyebar pada masing-masing jumlah TKT tersebut. Jarak antar TKT ketika pola rapat adalah setengah dari jarak pola menyebar. Kemudian, pada penelitian akan dikaji berdasarkan variasi topografi yang meliputi perbukitan dan datar.

Berdasarkan permasalahan di atas, hasil analisis dari penelitian ini akan menunjukkan tingkat ketelitian planimetrik orthofoto berdasarkan kuantitas TKT. Sehingga harapan dari hasil analisis pada penelitian ini akan bisa dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan TKT yang dibutuhkan untuk pekerjaan pemetaan skala besar dengan menggunakan pesawat tanpa awak.

I.2. Perumusan Masalah

Dari latar belakang masalah tersebut, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana model yang menghasilkan nilai ketelitian RMSE TCB terbaik dan terburuk pada topografi perbukitan dan datar?
2. Apakah ada perbedaan nilai ketelitian RMSE TCB yang signifikan antara pola penyebaran rapat dengan pola menyebar?
3. Apakah banyaknya TKT berpengaruh terhadap nilai ketelitian RMSE TCB?

I.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui tingkat ketelitian planimetrik orthofoto berdasarkan jumlah dan pola sebaran TKT.
2. Mengetahui pengaruh banyaknya TKT dan pola sebaran TKT terhadap ketelitian planimetrik orthofoto.

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Aspek Keilmuan

Memberikan kontribusi bagi ilmu fotogrametri, khususnya mengenai ketelitian planimetrik orthofoto berdasarkan kuantitas TKT.

2. Aspek Rekayasa

Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi jumlah TKT yang dibutuhkan dalam pekerjaan pemetaan skala besar menggunakan pesawat tanpa awak.

I.4. Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian ini tidak melebar, maka diberikan batasan masalah yang akan dijabarkan sebagai berikut :

1. Jumlah TKT yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5 TKT dan 10 TKT pada setiap masing-masing lokasi penelitian.
2. Jumlah ICP (*Independent Check Point*)/TCB (Titik Cek Bebas) yang digunakan dalam penelitian ini adalah 8 TCB.
3. Pola sebaran TKT meliputi menyebar dan rapat. Ketika pola TKT menyebar, TCB rapat dan ketika pola TKT rapat, TCB menyebar.
5. Perataan GPS menggunakan metode radial.
6. Perangkat lunak yang digunakan pada pengolahan orthofoto adalah Agisoft PhotoScan.
7. Uji ketelitian planimetrik menggunakan TCB.

I.5. Ruang Lingkup Penelitian

I.5.1. Wilayah Penelitian

Lokasi penelitian ini dilaksanakan pada variasi topografi perbukitan dan datar. Untuk topografi perbukitan, lokasi penelitian ini dilaksanakan di sebagian kampus UNDIP Tembalang. Untuk topografi datar, lokasi ini dilaksanakan di kawasan Simpang Lima.

I.5.2. Alat dan Data Penelitian

1. Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah :

- a. Sensor FC300X pada UAV DJI Phantom Professional 3 untuk pemotretan udara.
- b. *Premark* dan patok kayu atau paku payung untuk identifikasi TKT dan TCB pada foto udara.
- c. GPS tipe geodetik untuk menentukan koordinat TKT dan TCB.
- d. *Personal Computer* untuk pengolahan koordinat TKT dan TCB serta pengolahan orthofoto.

2. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Data foto udara non metrik.
- b. Koordinat TKT dan TCB.

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Konsep Dasar Orthofoto

Orthofoto dapat didefinisikan sebagai foto yang menyajikan gambaran objek pada posisi orthografik yang benar. Orthofoto secara geometrik ekuivalen terhadap peta garis konvensional dan peta simbol planimetrik yang juga menyajikan posisi orthografik objek secara benar. Beda utama antara orthofoto dan peta adalah bahwa orthofoto terbentuk gambar kenampakan, sedangkan peta menggunakan garis dan simbol yang digambarkan sesuai

dengan skala untuk mencerminkan kenampakan (Wolf, P. R., 1983). Orthofoto dapat digunakan sebagai peta untuk melakukan pengukuran langsung atas jarak, sudut, posisi, dan daerah tanpa melakukan koreksi bagi pergeseran letak gambar (Julzarika, A., 2009). Di dalam proses peniadaan pergeseran letak oleh relief pada sembarang foto, variasi skala harus dihapus sehingga skala menjadi sama bagi seluruh foto (Wolf, P. R., 1983). Pada akhirnya tingkat kebenaran orthofoto adalah sama dengan peta planimetrik (Hadi, B.S., 2007).

II.2. Ketelitian Planimetrik

Ketelitian planimetrik yang dimaksud pada penelitian ini adalah ketelitian planimetrik peta. Ketelitian planimetrik peta menurut Peraturan Kepala BIG Nomor 15 tahun 2014 adalah nilai yang menggambarkan ketidakpastian koordinat posisi komponen horizontal suatu objek pada peta dibandingkan dengan koordinat posisi objek yang dianggap posisi komponen horizontal sebenarnya.

Nilai ketelitian posisi peta dasar pada adalah nilai CE90 untuk ketelitian horizontal yang berarti bahwa kesalahan posisi peta dasar tidak melebihi nilai ketelitian tersebut dengan tingkat kepercayaan 90%.

Nilai CE90 dapat diperoleh dengan rumus mengacu kepada standar US NMAS (*United States National Map Accuracy Standards*), yaitu dengan persamaan (2.1).

$$CE90 = 1,5175 \times RMSE_r \quad (2.1)$$

Untuk mencari nilai $RMSE_r$ digunakan persamaan (2.2).

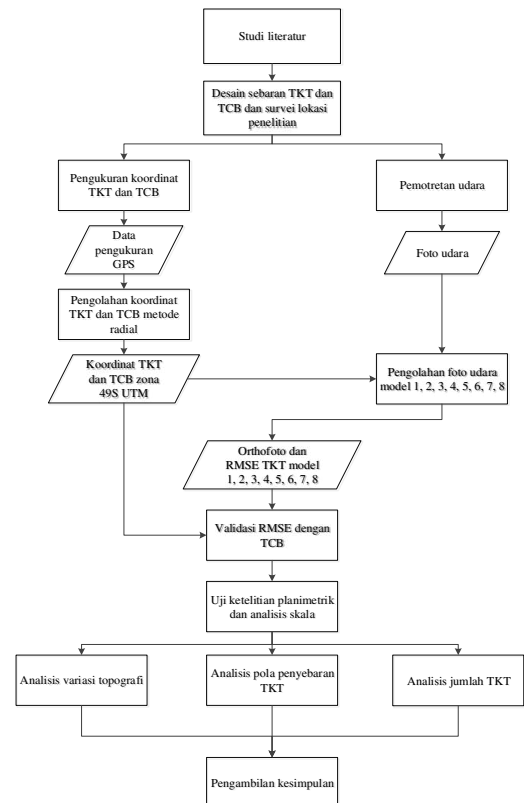
$$RMSE_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((x_{data} - x_{cek})^2 + (y_{data} - y_{cek})^2)}{n}} \quad (2.2)$$

Keterangan :

n = jumlah total pengecekan pada peta

III. Tahapan Pelaksanaan

Gambaran umum tahapan pelaksanaan penelitian ini bisa dilihat pada Gambar III.1.

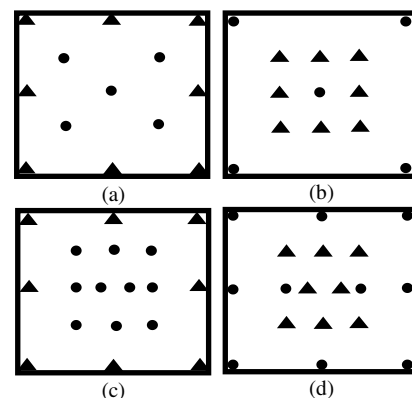


Gambar III.1. Diagram alir penelitian

III.1. Tahapan Persiapan

III.1.1. Desain Sebaran TKT dan TCB

Jumlah TKT yang digunakan pada penelitian ini adalah 5 TKT dan 10 TKT. Desain sebaran TKT dan TCB pada penelitian ini meliputi pola merapat dan pola menyebar. Apabila TKT merapat, TCB menyebar. Sebaliknya, apabila TKT menyebar, TCB merapat. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar III.2.



Gambar III.2. Desain pola sebaran TKT dan TCB

Keterangan :

● = TKT
▲ = TCB

Desain TKT dan TCB pada Gambar III.2. (a) merupakan desain 5 TKT dengan pola merapat dan 8 TCB dengan pola menyebar. Pada Gambar III.2. (b) merupakan desain 5 TKT dengan pola menyebar dan 8 TCB dengan pola merapat. Pada Gambar III.2. (c) merupakan desain 10 TKT dengan pola merapat dan 8 TCB dengan pola menyebar. Pada Gambar III.2. (d) merupakan desain 10 TKT dengan pola menyebar dan 8 TCB dengan pola merapat.

TKT dengan pola menyebar dan 8 TCB dengan pola merapat.

Pada penelitian ini akan dilaksanakan pada topografi perbukitan dan datar. Sehingga didapatkan 8 model yaitu sebagai berikut :

1. Model 1, menggunakan desain a pada topografi datar.
2. Model 2, menggunakan desain b pada topografi datar.
3. Model 3, menggunakan desain c pada topografi datar.
4. Model 4, menggunakan desain d pada topografi datar.
5. Model 5, menggunakan desain a pada topografi perbukitan.
6. Model 6, menggunakan desain b pada topografi perbukitan.
7. Model 7, menggunakan desain c pada topografi perbukitan.
8. Model 8, menggunakan desain d pada topografi perbukitan.

III.1.2. Perencanaan Tinggi terbang, *Overlap*, dan *Sidelap*

Pada penelitian ini tinggi terbang yang direncanakan adalah 125 meter di atas permukaan tanah. Serta *overlap* dan *sidelap* yang direncanakan adalah 65% dan 50%.

III.1.3. Pembuatan *Premark* dan Strategi Pemasangan Patok

Pada penelitian ini *premark* dibuat dengan warna biru dan putih seperti yang ditunjukkan pada Gambar III.3.



Gambar III.3. *Premark*

Ukuran lengan *premark* tersebut dibuat dengan panjang dan lebar pada masing-masing lengan adalah 1 m x 0,25 m.

Strategi untuk pemasangan patok dan *premark* yang dilakukan pada penelitian ini adalah pemasangan patok dilakukan sebelum pengukuran koordinat TKT dan TCB, serta pemasangan *premark* dilakukan setelah pengukuran TKT dan TCB. Hal ini ditujukan untuk mengantisipasi hilangnya *premark*.

III.2. Tahapan Pengumpulan Data

Tahapan pengumpulan data meliputi dua hal, yaitu data koordinat dan data foto udara.

III.2.1. Pengukuran Koordinat TKT dan TCB

Alat yang digunakan untuk pengukuran koordinat TKT dan TCB adalah *receiver* Sokkia Stratus dengan tipe *single* frekuensi dengan interval pengamatan 10 detik dan untuk beberapa titik lainnya menggunakan *receiver* Topcon Hiper II dengan tipe *dual* frekuensi dengan interval pengamatan 1 detik.

Base yang digunakan pada pengukuran TKT dan TCB ini adalah CORS UNDIP dan untuk beberapa titik lainnya menggunakan *base* N1.0259 yang terletak di sebelah Utara Tugu Muda.

Lama pengamatan untuk pengukuran koordinat TKT dan TCB dengan metode statik singkat ini adalah interval 30 – 60 menit, tergantung dengan jarak *baseline* dan tipe alat yang digunakan.

III.2.2. Pemotretan Udara

Sebelum pemotretan udara dilakukan alat tersebut perlu dikalibrasi. Kalibrasi ini meliputi kalibrasi kompas dan kalibrasi gimbal.

Setelah pemotretan udara, hal selanjutnya adalah pengecekan foto udara. Pada tahapan ini hal yang perlu dicek pada foto udara adalah apakah *premark* yang telah disebar dapat diidentifikasi atau tidak.

III.3. Tahapan Pengolahan Data

III.3.1. Pengolahan Koordinat TKT dan TCB

Ketika data hasil pengukuran koordinat TKT dan TCB telah terkumpul, data tersebut dikonversi ke RINEX agar dapat dibaca oleh perangkat lunak.

Pada pengolahan koordinat TKT dan TCB ini, perataan jaring GPS adalah dengan metode radial. Hasil koordinat tersebut kemudian dikonversi ke dalam sistem proyeksi UTM dengan datum WGS '84.

Data tinggi dikonversi ke tinggi orthometrik dengan nilai undulasi menggunakan EGM 2008.

III.3.2. Pengolahan Orthofoto

Pengolahan orthofoto pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak Agisoft PhotoScan. Tahapan pengolahan orthofoto pada perangkat ini adalah sebagai berikut :

1. *Align* foto.
2. Rektifikasi.
3. Optimasi sensor.
4. Pembentukan *point cloud* padat.
5. Pembentukan *mesh*.
6. Pembentukan tekstur.
7. *Export* ke orthofoto.

III.3.3. Pengujian Signifikansi Nilai Ketelitian Pola Penyebaran TKT

Variabel dalam pengujian ini adalah nilai RMSE TCB. Pengujian dilakukan dengan tingkat kepercayaan 90% dan dua pihak. Rumusan hipotesis pada uji signifikansi adalah sebagai berikut :

H_0 : Tidak ada perbedaan nilai ketelitian yang signifikan antara pola penyebaran menyebar dan merapat.

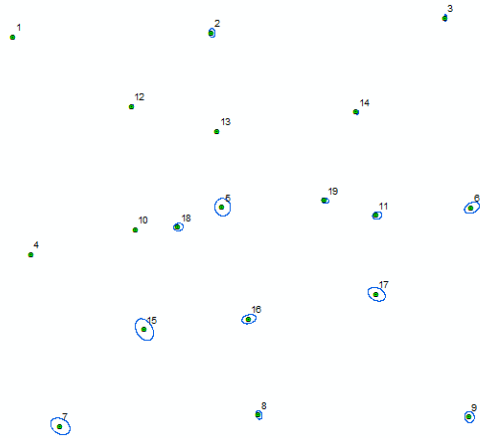
H_1 : Ada perbedaan nilai ketelitian yang signifikan antara pola penyebaran menyebar dan merapat.

IV. Hasil dan Analisis

IV.1. Hasil dan Analisis Koordinat TKT dan TCB

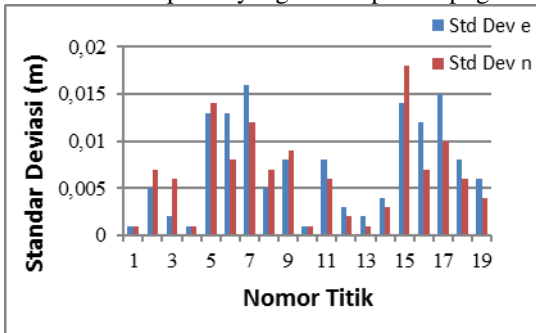
Tingkat ketelitian koordinat pengukuran TKT dan TCB tersebut digambarkan dengan nilai standar deviasi (Lailissaum, A., 2014).

Gambar IV.1. menunjukkan persebaran koordinat TKT dan TCB pada topografi datar.



Gambar IV.1. Hasil persebaran TKT dan TC pada topografi datar beserta elips kesalahan titik

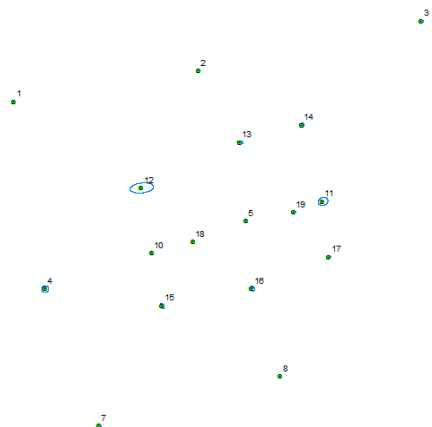
Gambar IV.2. menunjukkan grafik standar deviasi horizontal setiap titik yang diukur pada topografi datar.



Gambar IV.2. Standar deviasi koordinat TKT dan TCB pada topografi datar

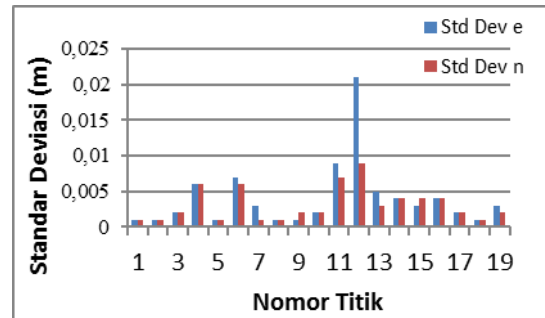
Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai standar deviasi terkecil yaitu sebesar 0,001 m dan nilai standar deviasi terbesar yaitu sebesar 0,018 yaitu pada titik 15 pada sumbu Y. Apabila meninjau penghalang titik 15, titik ini diimpit oleh antara gedung sekolah yang menjadi sumber *multipath*.

Gambar IV.3. menunjukkan persebaran koordinat TKT dan TCB pada topografi datar.



Gambar IV.3. Hasil persebaran TKT dan TC pada topografi perbukitan beserta elips kesalahan titik

Gambar IV.4. menunjukkan grafik standar deviasi horizontal setiap titik yang diukur pada topografi perbukitan.

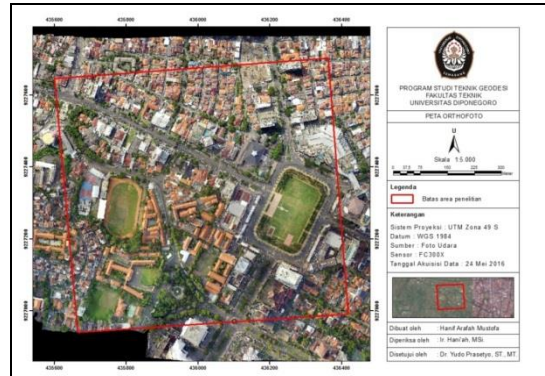


Gambar IV.4. Standar deviasi koordinat TKT dan TCB pada topografi perbukitan

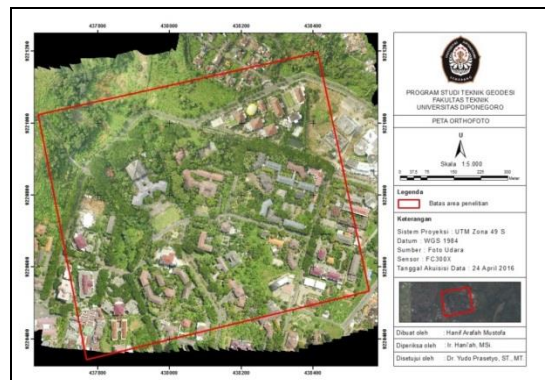
Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai standar deviasi terkecil yaitu sebesar 0,001 m dan nilai standar deviasi terbesar yaitu sebesar 0,021 m pada titik 12 pada sumbu X. Nilai standar deviasi pada pengukuran koordinat sangat bergantung oleh beberapa faktor salah satunya adalah *multipath*. Hal tersebut ditunjukkan pada titik 12 memiliki nilai standar deviasi terbesar dari pengukuran koordinat TKT dan TCB pada topografi perbukitan. Apabila meninjau penghalang yang berada di sekitarnya, titik 12 ini terletak di sebelah barat Widya Puraya, di mana terdapat gedung, pepohonan yang tinggi di sekitarnya. Selain itu, di dekat titik ini terdapat tower yang terletak di sebelah Timur Perpustakaan UNDIP yang menimbulkan gangguan elektrik pada penerimaan sinyal.

IV.2. Hasil dan Analisis Orthofoto

Gambar IV.5. dan Gambar IV.6. menunjukkan hasil orthofoto.



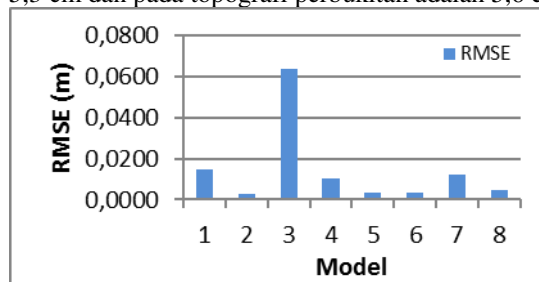
Gambar IV.5. Hasil peta orthofoto pada topografi datar



Gambar IV.6. Hasil peta orthofoto pada topografi datar

Grafik IV.7. menunjukkan hasil perbandingan RMSE TKT setiap model. *Ground Sampling Distance*

(GSD) yang didapatkan pada topografi datar adalah 5,2 - 5,3 cm dan pada topografi perbukitan adalah 5,6 cm.

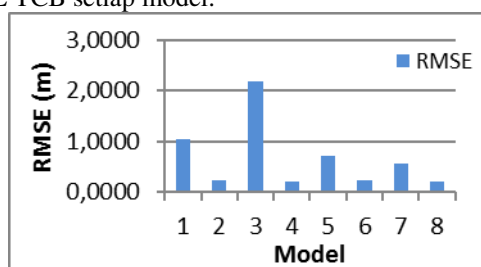


Gambar IV.7. Grafik RMSE TKT

Gambar IV.7. menunjukkan bahwa nilai RMSE TKT yang didapatkan pada setiap model diperoleh orde cm bahkan mm. Pada Gambar IV.7. dapat dilihat bahwa penggunaan TKT yang sama dengan pola sebaran yang berbeda akan menghasilkan nilai RMSE yang berbeda. Nilai RMSE paling kecil didapatkan pada penggunaan TKT dengan pola menyebar.

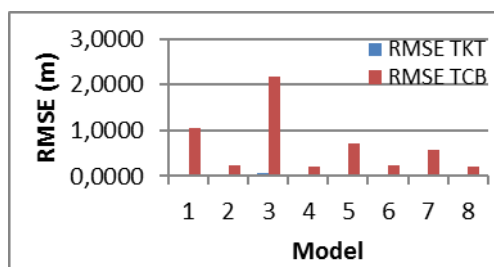
IV.3. Hasil dan Analisis Validasi Data dengan TCB

Grafik IV.8. menunjukkan hasil perbandingan RMSE TCB setiap model.



Gambar IV.8. Grafik RMSE TCB setiap model

Gambar IV.9. menunjukkan hasil perbandingan RMSE TKT dan RMSE TCB setiap model.



Gambar IV.9. Perbandingan nilai RMSE TKT dan TCB setiap model

Gambar IV.9. menunjukkan bahwa pada model yang sama memiliki nilai RMSE yang berbeda. Nilai RMSE yang diperoleh dari TKT lebih kecil daripada nilai RMSE yang diperoleh dari TCB.

IV.4. Uji Ketelitian Planimetrik dan Analisis Skala

Uji ketelitian planimetrik ditunjukkan dengan nilai CE90. Berdasarkan nilai tersebut, maka dapat diketahui skala yang memenuhi mengacu kepada standar ketelitian peta dasar Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014. Untuk mengetahui skala yang memenuhi standar ketelitian peta dasar tersebut, nilai CE90 hasil hitungan harus lebih kecil dari nilai CE90 tabel.

Nilai CE90 dihitung dengan persamaan (2.1). Nilai tersebut dapat diketahui apabila nilai RMSE diketahui.

Pada penelitian ini, nilai RMSE yang menjadi acuan untuk menentukan nilai CE90 ini adalah nilai RMSE yang didapatkan dari TCB. Salah satu alasan mengapa pada uji ketelitian planimetrik dengan menggunakan TCB adalah pada sub bab sebelumnya telah dibahas bahwa nilai RMSE terbesar berasal dari TCB. Sehingga, nilai ini diambil adalah untuk asumsi nilai terburuk pada setiap model orthofoto tersebut.

Berdasarkan hasil perhitungan, setiap model memiliki nilai CE90 yang berbeda-beda, hal ini bergantung kepada pola sebaran dan jumlah TKT yang digunakan pada saat pengolahan orthofoto. Sehingga didapatkan skala yang berbeda pada setiap model.

Hitungan CE90 dan skala yang memenuhi pada setiap model adalah sebagai berikut :

1. Model 1

Nilai CE90 pada model 1 adalah 1,589. Skala yang memenuhi untuk model 1 ditunjukkan pada Tabel IV.1.

Tabel. IV.1. Uji skala yang memenuhi model 1

Hasil Uji CE90	Skala	Ketelitian Peta		
		Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
1,589	1:1.000	0,2	0,3	0,5
	1:2.500	0,5	0,75	1,25
	1:5.000	1	1,5	2,5

Sehingga, model 1 memenuhi skala 1:5.000 kelas 3.

2. Model 2

Nilai CE90 pada model 2 adalah 0,340. Skala yang memenuhi untuk model 2 ditunjukkan pada Tabel IV.2.

Tabel. IV.2. Uji skala yang memenuhi model 2

Hasil Uji CE90	Skala	Ketelitian Peta		
		Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
0,340	1:1.000	0,2	0,3	0,5
	1:2.500	0,5	0,75	1,25
	1:5.000	1	1,5	2,5

Sehingga, model 2 memenuhi skala 1:1.000 kelas 3.

3. Model 3

Nilai CE90 pada model 3 adalah 3,325. Skala yang memenuhi untuk model 3 ditunjukkan pada Tabel IV.3.

Tabel. IV.3. Uji skala yang memenuhi model 3

Hasil Uji CE90	Skala	Ketelitian Peta		
		Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
3,325	1:1.000	0,2	0,3	0,5
	1:2.500	0,5	0,75	1,25
	1:5.000	1	1,5	2,5
	1:10.000	2	3	5

Sehingga, model 3 memenuhi skala 1:10.000 kelas 3.

4. Model 4

Nilai CE90 pada model 4 adalah 0,309. Skala yang memenuhi untuk model 4 ditunjukkan pada Tabel IV.4.

Tabel. IV.4. Uji skala yang memenuhi model 4

Hasil Uji CE90	Skala	Ketelitian Peta		
		Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
0,309	1:1.000	0,2	0,3	0,5
	1:2.500	0,5	0,75	1,25
	1:5.000	1	1,5	2,5

Sehingga, model 4 memenuhi skala 1:1.000 kelas 3.

5. Model 5

Nilai CE90 pada model 5 adalah 1,100. Skala yang memenuhi untuk model 1 ditunjukkan pada Tabel IV.5.

Tabel. IV.5. Uji skala yang memenuhi model 5

Hasil Uji CE90	Skala	Ketelitian Peta		
		Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
1,100	1:1.000	0,2	0,3	0,5
	1:2.500	0,5	0,75	1,25
	1:5.000	1	1,5	2,5

Sehingga, model 5 memenuhi skala 1:2.500 kelas 3.

6. Model 6

Nilai CE90 pada model 6 adalah 0,361. Skala yang memenuhi untuk model 6 ditunjukkan pada Tabel IV.6.

Tabel. IV.6. Uji skala yang memenuhi model 6

Hasil Uji CE90	Skala	Ketelitian Peta		
		Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
0,361	1:1.000	0,2	0,3	0,5
	1:2.500	0,5	0,75	1,25
	1:5.000	1	1,5	2,5

Sehingga, model 6 memenuhi skala 1:1.000 kelas 3.

7. Model 7

Nilai CE90 pada model 7 adalah 0,867. Skala yang memenuhi untuk model 7 ditunjukkan pada Tabel IV.7.

Tabel. IV.7. Uji skala yang memenuhi model 7

Hasil Uji CE90	Skala	Ketelitian Peta		
		Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
0,867	1:1.000	0,2	0,3	0,5
	1:2.500	0,5	0,75	1,25
	1:5.000	1	1,5	2,5

Sehingga, model 7 memenuhi skala 1:2.500 kelas 3.

8. Model 8

Nilai CE90 pada model 8 adalah 0,317. Skala yang memenuhi untuk model 8 ditunjukkan pada Tabel IV.8.

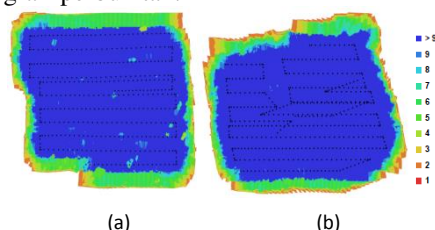
Tabel. IV.8. Uji skala yang memenuhi model 8

Hasil Uji CE90	Skala	Ketelitian Peta		
		Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
0,317	1:1.000	0,2	0,3	0,5
	1:2.500	0,5	0,75	1,25
	1:5.000	1	1,5	2,5

Sehingga, model 8 memenuhi skala 1:1.000 kelas 3.

IV.5. Analisis Variasi Topografi

Jika orthofoto tersebut ditinjau dari variasi topografi, hasil orthofoto memiliki perbedaan pada pertampalan foto. Gambar IV.10. menunjukkan pertampalan foto pada hasil orthofoto pada topografi datar dan topografi perbukitan.



Gambar IV.10. Pertampalan foto pada hasil orthofoto pada topografi datar (a) dan pada topografi perbukitan (b)

Perlu diketahui bahwa lokasi penelitian pada topografi datar ini adalah di kawasan Simpang Lima, di mana terdapat variasi ketinggian bangunan yang signifikan, disebabkan adanya gedung-gedung tinggi. Sedangkan pada topografi perbukitan lokasi penelitian ini di kampus UNDIP Tembalang, di mana variasi ketinggian bangunan tidak signifikan, kecuali tinggi tower yang berada di sebelah Timur Perpustakaan UNDIP.

Pada Gambar IV.10. dapat dilihat bahwa orthofoto pada topografi datar terdapat pertampalan foto yang kurang sempurna dibandingkan dengan orthofoto pada topografi perbukitan. Pertampalan foto yang kurang sempurna tersebut pada umumnya adalah wilayah yang terdapat gedung-gedung tinggi. Adanya pertampalan foto yang kurang baik tersebut akan berpengaruh terhadap bidang planimetrik yang masih terdapat pergeseran relief seperti yang ditunjukkan Gambar IV.11.



Gambar IV.11. Contoh/sampel pengaruh pertampalan foto yang kurang sempurna pada gedung tinggi yang menyebabkan masih adanya pergeseran relief

Nilai RMSE TCB model orthofoto yang terbaik pada topografi datar adalah 0,204 dan pada topografi perbukitan adalah 0,209. Nilai RMSE TCB model orthofoto yang terburuk pada topografi datar adalah 2,191 dan pada topografi perbukitan adalah 0,725.

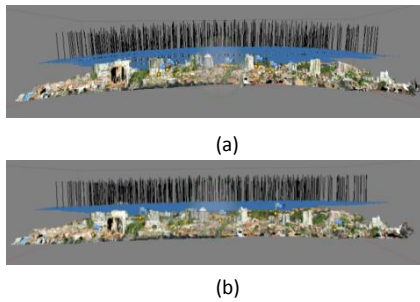
IV.6. Analisis Pola Penyebaran Titik Kontrol Tanah

Berdasarkan hitungan RMSE TCB setiap model, dapat dilihat bahwa model dengan menggunakan TKT yang sama dengan pola penyebaran yang berbeda memiliki nilai ketelitian yang berbeda.

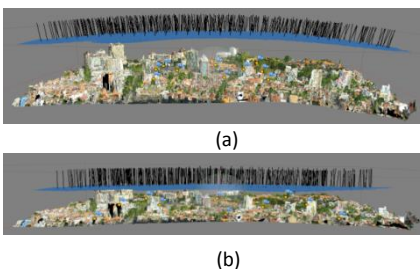
Berdasarkan hasil uji t, didapatkan hasil bahwa nilai signifikansi sebesar 0,088 di mana nilai tersebut lebih kecil dari 0,100. Sehingga H_0 ditolak. Artinya, ada perbedaan nilai ketelitian yang signifikan antara pola penyebaran menyebar dan rapat. Hasil rata-rata nilai ketelitian pada pola merapat 1,133 meter, di mana tersebut lebih besar dari rata-rata nilai ketelitian pada pola menyebar yaitu 0,219 meter.

Salah satu penyebab nilai ketelitian yang besar pada pola merapat secara visual dapat dilihat pada saat pengolahan orthofoto ketika penggunaan TKT dengan pola merapat bidang foto udara terlihat kelengkungan, sedangkan penggunaan TKT dengan pola menyebar kelengkungan tersebut tidak terlihat. Kelengkungan yang ekstrim terlihat pada penggunaan 10 TKT dengan pola merapat. Meskipun demikian, hal tersebut hanya terjadi pada topografi datar di mana terdapat gedung-gedung tinggi. Pada topografi perbukitan, kelengkungan tersebut pada penggunaan TKT dengan pola merapat tidak terlihat. Perbandingan visual antara pola merapat dan pola

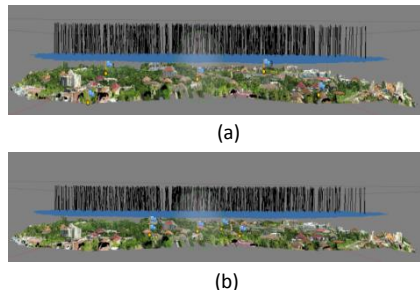
menyebar dapat dilihat pada Gambar IV.12. hingga Gambar IV.14.



Gambar IV.12. Perbandingan visual penggunaan 5 TKT pada pola merapat (a) terlihat kelengkungan dan pada pola menyebar (b) tidak terlihat kelengkungan



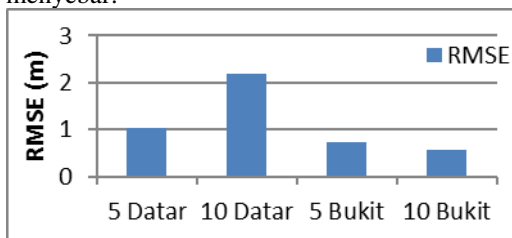
Gambar IV.13. Perbandingan visual penggunaan 10 TKT pada pola merapat (a) terlihat kelengkungan yang ekstrem dan pada pola menyebar (b) tidak terlihat kelengkungan



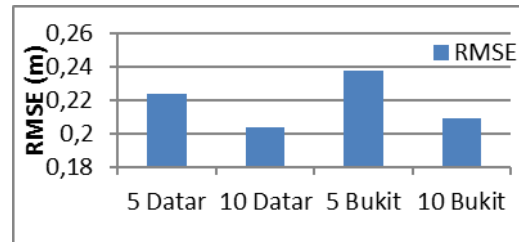
Gambar IV.14. Perbandingan visual pada pola merapat (a) dan pola menyebar (b) yang tidak terlihat kelengkungan pada topografi perbukitan

IV.7. Analisis Banyaknya Titik Kontrol Tanah

Banyaknya TKT yang digunakan pada pengolahan orthofoto akan berpengaruh terhadap nilai ketelitian. Nilai ketelitian yang dimaksud di sini adalah nilai RMSE TCB. Gambar IV.15. dan Gambar IV.16. menunjukkan grafik nilai RMSE pada kelompok pola merapat dan pola menyebar.



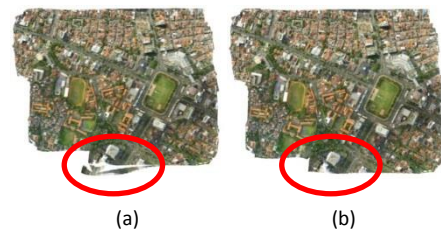
Gambar IV.15. Banyaknya TKT terhadap RMSE pada pola merapat



Gambar IV.16. Banyaknya TKT terhadap RMSE pada pola menyebar

Banyaknya TKT yang digunakan yang mempengaruhi kecilnya nilai ketelitian juga dibuktikan pada pola menyebar. Pada Gambar IV.16. menunjukkan pada pola menyebar, semakin banyak TKT yang digunakan maka semakin kecil nilai ketelitian yang didapatkan. Secara berturut-turut selisih nilai ketelitian antara penggunaan 10 TKT dan 5 TKT pada topografi datar dan perbukitan sebesar 0,020 m dan 0,028 m.

Meskipun perubahan nilai ketelitian tersebut hanya berkisar 2 cm, penggunaan banyaknya TKT juga berpengaruh terhadap hasil orthofoto. Pada penggunaan 5 TKT, persebaran titik-titik tersebut terletak pada 4 titik berada di sudut-sudut batas penelitian dan 1 titik berada di tengah. Sedangkan pada penggunaan 10 TKT, persebaran titik-titik tersebut terletak pada 4 titik berada di sudut-sudut batas penelitian, 4 titik berada di pinggir tengah batas penelitian, dan 2 titik berada tengah. Gambar IV.17. menunjukkan salah satu contoh pengaruh penggunaan banyaknya TKT terhadap hasil orthofoto.



Gambar IV.17. Penggunaan 5 TKT (a) dan 10 TKT (b) terhadap hasil visualisasi orthofoto

Lingkaran merah pada Gambar IV.18. menunjukkan salah satu pengaruh banyaknya TKT terhadap hasil orthofoto. Pada gambar sebelah kiri terdapat hasil objek pada orthofoto yang tidak beraturan, sedangkan pada gambar kanan objek tersebut tereliminasi. Objek yang terdapat pada lingkaran merah tersebut merupakan gedung tinggi yang hanya sebagian gedung yang terpotret seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.18. Tentunya objek yang tidak beraturan tersebut akan berpengaruh terhadap bidang planimetrik, dikarenakan masih adanya pergeseran relief.



Gambar IV.18. Lingkaran merah menunjukkan objek gedung yang hanya sebagian yang terpotret

V. Kesimpulan dan Saran

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan mengenai ketelitian planimetrik orthofoto pada topografi perbukitan dan datar berdasarkan kuantitas titik kontrol tanah, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Model yang menghasilkan nilai ketelitian RMSE TCB terbaik pada topografi perbukitan dan datar adalah model dengan menggunakan 10 TKT dengan pola menyebar ditunjukkan dengan nilai ketelitian RMSE TCB yang kecil. Model yang menghasilkan nilai ketelitian RMSE TCB terburuk pada topografi perbukitan adalah model dengan menggunakan 5 TKT dengan pola merapat dan pada topografi datar adalah model dengan menggunakan 10 TKT dengan pola merapat.
2. Berdasarkan hasil uji t dengan tingkat kepercayaan 90%, ada perbedaan nilai ketelitian RMSE TCB yang signifikan antara pola penyebaran TKT merapat dan menyebar. Rata-rata nilai ketelitian RMSE TCB pada pola merapat sebesar 1,133 meter dan rata-rata nilai ketelitian RMSE TCB pada pola menyebar sebesar 0,219 meter. Pola penyebaran TKT yang memiliki hasil dengan ketelitian RMSE TCB yang tinggi adalah pola menyebar pada area batas penelitian yang ditunjukkan dengan nilai RMSE TCB yang lebih kecil dari RMSE TCB pada pola merapat.
3. Penambahan jumlah TKT berpengaruh terhadap nilai ketelitian RMSE TCB. Penambahan TKT pola merapat pada topografi datar nilai RMSE TCB meningkat sebesar 1,144 meter. Penambahan TKT pola merapat pada topografi perbukitan nilai RMSE TCB menurun sebesar -0,153 meter. Penambahan TKT pola menyebar pada topografi datar menurun sebesar -0,020 meter. Penambahan TKT pola menyebar pada topografi perbukitan menurun sebesar -0,028 meter. Berdasarkan data tersebut, disimpulkan bahwa pada umumnya penambahan TKT akan menghasilkan ketelitian yang tinggi ditunjukkan dengan nilai RMSE TCB yang menurun. Namun, hal ini tidak demikian ketika pola TKT merapat pada topografi datar.

V.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang penulis lakukan, berikut saran yang penulis dapatkan :

1. Pada pengolahan orthofoto menggunakan perangkat lunak Agisoft PhotoScan, sebaiknya menggunakan perangkat keras dengan spesifikasi yang tinggi untuk mendapatkan hasil yang optimal.
2. Untuk penelitian selanjutnya, perlu kajian mengenai pengaruh luasan area pemotretan udara dengan menggunakan jumlah dan pola penyebaran TKT yang sama terhadap nilai ketelitian.
3. Untuk penelitian selanjutnya, perlu kajian mengenai hasil orthofoto dan pengaruhnya terhadap ketelitian planimetrik dari perangkat lunak pengolahan orthofoto yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Hadi, B.S. 2007. *Dasar-dasar Fotogrametri*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- Julzarika, A. 2009. *Perbandingan Teknik Orthorektifikasi Citra Satelit SPOT 5 Wilayah Semarang dengan Metode Digital Mono Plotting (DMP) dan Metode Rational Polynomial Coefficients (RCPs)*. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Digital. Vol. 6 : hal. 11-21.
- Lailissaum, A. 2015. *Pemotretan Udara Wilayah Unresolved Segment Perbatasan RI-RDTL dalam Rangka Penyelesaian Sengketa Batas Negara*. Simposium Nasional Sains Geoinformasi IV 2015 hal. 142-149.
- Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.
- Wolf, P. R. 1983. *Elemen Fotogrametri*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.