

PEMBUATAN PETA TOPOGRAFI SKALA BESAR DENGAN MEMANFAATKAN FOTO UDARA UAV KAMERA NON-METRIK

Slamet Riadi⁽¹⁾, M. Edwin Tjahjadi⁽²⁾, Hery Purwanto⁽³⁾

Program Studi Teknik Geodesi

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang

Kampus I : Jalan Bendungan Sigura-gura 2 Malang

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan teknologi UAV menggunakan kamera non-metrik sangat mendukung dalam pekerjaan pemetaan. Akan tetapi, penggunaan foto udara non-metrik kamera memiliki banyak kekurangan terutama pada Interior Orientation Parameter (IOP) yang tidak stabil dan keterbatasan UAV yang tidak stabil karena pengaruh angin pada saat terbang yang dapat berpotensi menyebabkan *drift* dan perbedaan skala yang sangat besar dan sensornya yang kecil menyebabkan area cakupannya juga kecil. Sehingga tidak memungkinkan untuk dilakukan pemrosesan secara fotogramteri analitik seperti pemrosesan pada foto udara metrik.

Alternatif pemrosesannya adalah dengan menerapkan teknologi fotogrametri digital yang merupakan perpaduan antara teknologi fotogrametri dan komputer vision. Teknologi komputer vision yang digunakan untuk pemrosesan foto pada saat ini diantaranya adalah perangkat lunak *Agisoft Photoscan*, yang menerapkan teknik SFM (*Structure From Motion*) berdasarkan algoritma SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*) pada proses pencocokan fitur titik pada gambar untuk merekonstruksi geometri gambar secara 3D (Verhoeven, 2011 dalam Turner, 2013). Algoritma SIFT dapat melakukan pencocokan fitur (*Feature Matching*) antar foto yang bertampalan secara otomatis, yang tidak dipengaruhi oleh perbedaan skala foto, translasi atau rotasi, serta sedikit perbedaan intensitas cahaya pada objek yang dikenali (Lingua et. al, 2009). Metode tersebut mirip dengan pengikatan tie point pada proses orientasi foto atau triangulasi udara pada teknik fotogrametri analitik. Akan tetapi, metode tersebut perlu dilakukan pengkajian untuk mengetahui seberapa kesesuaiannya terhadap pengadaan data spasial dari pemotretan UAV kamera non-metrik, khususnya untuk pembuatan peta topografi.

Pada penelitian ini dilakukan berapa pemrosesan fotogrametri digital pada foto udara non-metrik, yang meliputi pemrosesan dengan menerapkan *in-field* dan *in-flight* kalibrasi, variasi pertampalan foto udara, dan variasi distribusi GCP (*Ground Control Point*). Hal tersebut dimaksudkan untuk mengetahui ketelitian geometri yang dihasilkan serta menghasilkan solusi pemrosesan fotogrametri digital pada foto udara non-metrik untuk pengadaan data spasial.

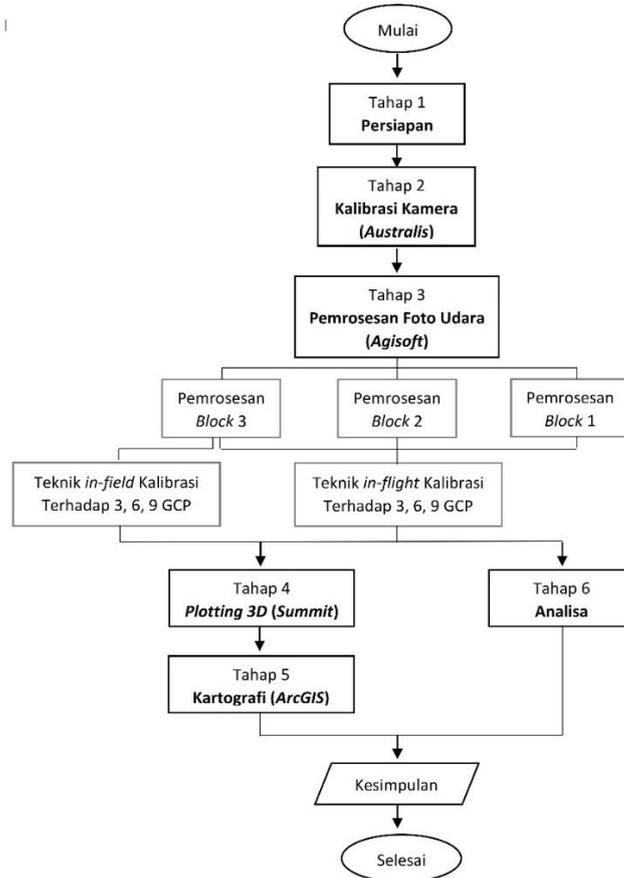
Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan data spasial berupa peta topografi; menemukan solusi pemrosesan foto udara UAV ditinjau dari teknik kalibrasi kamera *in-field* dan *in-flight*, jumlah GCP dan konfigurasi pertampalan foto; serta ketelitian geometri yang dihasilkan berdasarkan standar ketentuan BIG.

PELAKSANAAN PENELITIAN

Metodologi Penelitian

Secara garis besar metodologi penelitian yang dilaksanakan meliputi beberapa tahap yang digambarkan pada diagram alir berikut ini.



Pada tahapan ini dilakukan persiapan alat yang meliputi perangkat keras, perangkat lunak serta bahan yang digunakan yang meliputi hasil pengumpulan data lapangan.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

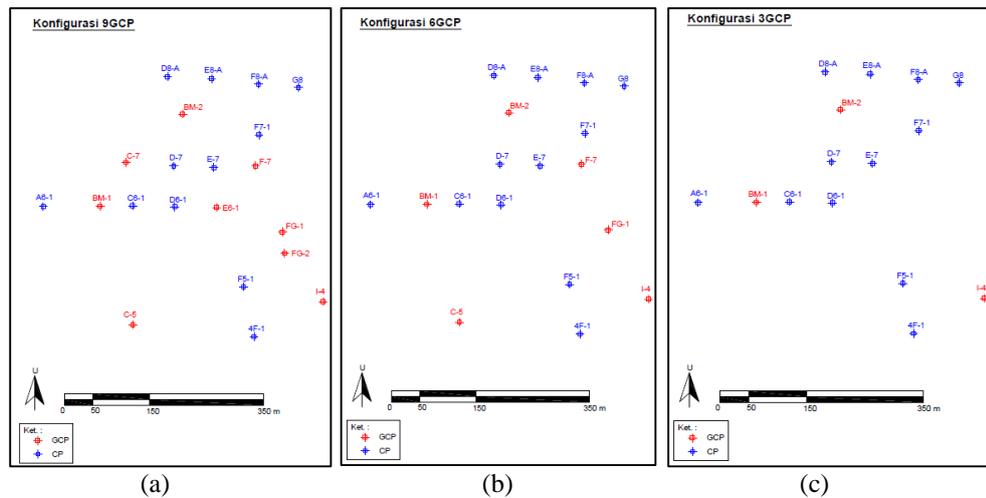
1. Perangkat lunak, antara lain : *Microsoft Office, Australis, Agisoft Photoscan, Summit Evolution, AutoCAD Map 3D, Arcgis 10, dan Global Mapper 16.*
2. Perangkat keras, antara lain : *Laptop Asus A46C, Perangkat Digital Photogrammetry Workstation, yang terdiri dari perangkat komputer, monitor 3D, kaca mata 3D dan stealth mouse 3D.*

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Foto udara UAV kamera canon s110 terdiri dari 3 block foto :

Block Foto	Forelap	Sidelap	Interval Pemotretan (m)	Interval antar jalur (m)	Jumlah Foto
B 1	80% ± 5%	70% ± 5%	25 ± 10	100 ± 10	39
B 2	90% ± 5%	70% ± 5%	55 ± 10	100 ± 10	92
B 3	B 1 + B 2				39 + 92 = 131

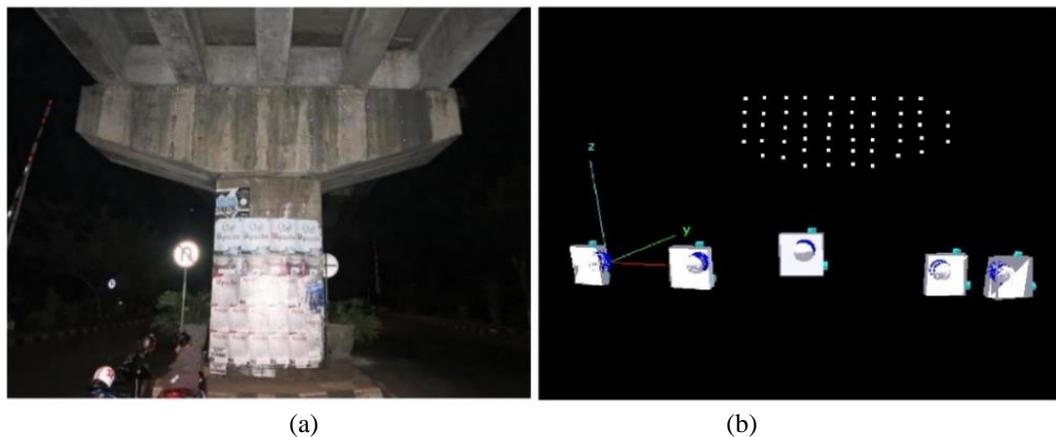
2. Foto bidang kalibrasi hasil pemotretan pada *retro-reflective* yang ditempatkan di dinding jembatan Arjosari untuk kalibrasi *in-field*, sebanyak 10 foto.
3. Titik kontrol, dengan 3 konfigurasi yaitu : (1) 3GCP menggunakan 12 titik cek; (2) 6GCP menggunakan 12 titik cek; dan (3) 9GCP menggunakan 12 titik cek.



Gambar 1. Konfigurasi Persebaran 9 GCP (a), 6 GCP (b) dan 3 GCP (c)

Kalibrasi Kamera

Pada tahapan ini dilakukan kalibrasi kamera teknik *in-field*, yaitu kalibrasi kamera yang ditentukan dari pemotretan bidang kalibrasi di lapangan. Tahapannya meliputi : data foto bidang kalibrasi diinput ke dalam perangkat lunak *Australis*. Setelah itu, dilakukan *input* nilai parameter kamera pendekatan yang diperoleh dari *manual book* kamera *canon S110* yaitu berupa ukuran sensor dan ukuran piksel serta nilai panjang fokus (c) yang digunakan saat pemotretan.



Gambar 2. Foto bidang kalibrasi (a) dan visualisasi posisi kamera saat pemotretan (b)

Selanjutnya dilakukan proses ekstraksi titik retro target secara *semi-manual* dengan mengplot sekitar wilayah titik retro, maka secara otomatis program akan mendefinisikan pusat dari titik retro tersebut. Setelah ekstraksi titik retro, dilanjutkan proses orientasi relatif untuk mengorientasikan antar foto, kemudian proses rekseksi. Setelah itu dilakukan hitungan *Bundle Adjustment* sehingga diperoleh nilai parameter kalibrasi kamera hasil teknik *in-field*.

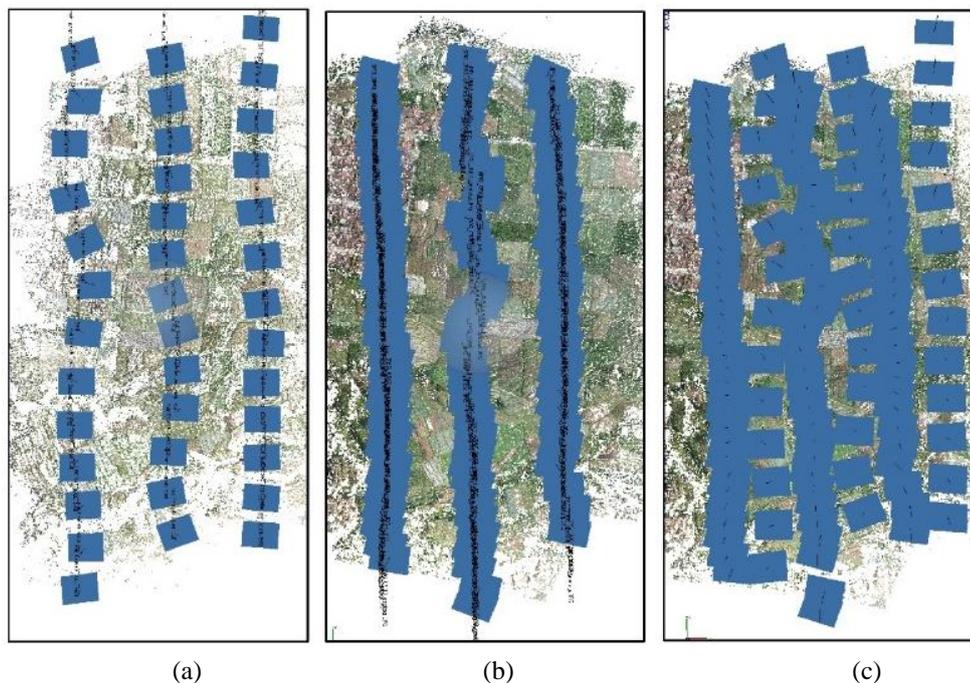
Pemrosesan Foto Udara

Pada tahapan ini, pemrosesan fotogrametri digital foto udara dilakukan menggunakan perangkat lunak *Agisoft Photoscan*. Pemrosesan foto udara dilakukan dengan menerapkan teknik *image matching* metode SIFT, yaitu dengan mencocokkan titik yang sama antara foto yang bertampalan (titik konjugasi) pada proses orientasi hingga pembuatan DEM dan *orthophoto* secara otomatis.

Pada penelitian ini dilakukan beberapa percobaan pemrosesan fotogrametri digital untuk menghasilkan DSM dan *orthophoto* menggunakan perangkat lunak *Agisoft Photoscan*, meliputi

pemrosesan dengan penerapan teknik *in-field* dan *in-flight* kalibrasi, serta pemrosesan pada variasi *block* atau variasi pertampalan foto udara. Pemrosesan dengan penerapan teknik *in-field* dan *in-flight* kalibrasi serta variasi *block* dilakukan terhadap variasi GCP (3, 6, dan 9 GCP). Masing-masing percobaan dilakukan pemrosesan hingga menghasilkan nilai *residual error* titik cek untuk keperluan analisa akurasi geometri. Dengan maksud untuk mengetahui ketelitian geometri dari pemrosesan teknik *in-field* dan *in-flight* kalibrasi, variasi *block* foto atau variasi pertampalan foto serta dari variasi penggunaan GCP itu sendiri. Adapun tahapan pemrosesan foto udara yang dilakukan menggunakan perangkat lunak *Agisoft Photoscan* dapat dilihat pada Lampiran 2.

Pemrosesan foto udara yang dilakukan meliputi orientasi dalam yaitu dengan mereduksi kesalahan foto menggunakan parameter kalibrasi kamera. Pada penelitian ini parameter kalibrasi kamera ditentukan dengan dua cara, yaitu secara *in flight* dan *in field*. Secara *in-field*, parameter kalibrasi kamera ditentukan terlebih dahulu pada foto bidang kalibrasi di lapangan yang selanjutnya digunakan sebagai nilai reduksi pada pemrosesan foto udara, sedangkan secara *in-flight* nilai reduksi ditentukan bersamaan pemrosesan foto udara setelah orientasi absolut menggunakan teknik *Bundle Adjustment Self Calibration*. Tahapan selanjutnya adalah orientasi secara relatif pada foto udara dengan cara identifikasi *tie point* secara otomatis menggunakan teknik *image matching*, dimana titik yang sama pada foto yang bertampalan (titik konjugasi) akan teridentifikasi secara otomatis menggunakan nilai pikselnya, kemudian dilanjutkan pengikatan antar foto berdasarkan *tie point* tersebut, sehingga posisi foto terhadap foto yang lainnya dalam sistem koordinat model dapat ditentukan. Berdasarkan *tie point* akan membentuk hubungan antara obyek dan foto, sehingga menjadi sekumpulan titik hasil perpotongan berkas sinar obyek pada foto yang disebut sebagai *point cloud*. *Point cloud* yang dihasilkan masih dalam sistem koordinat model. Posisi foto terhadap *point cloud* dalam sistem koordinat model pada *block 3*, *block 2* dan *block 1* ditunjukkan pada Gambar 3.5.



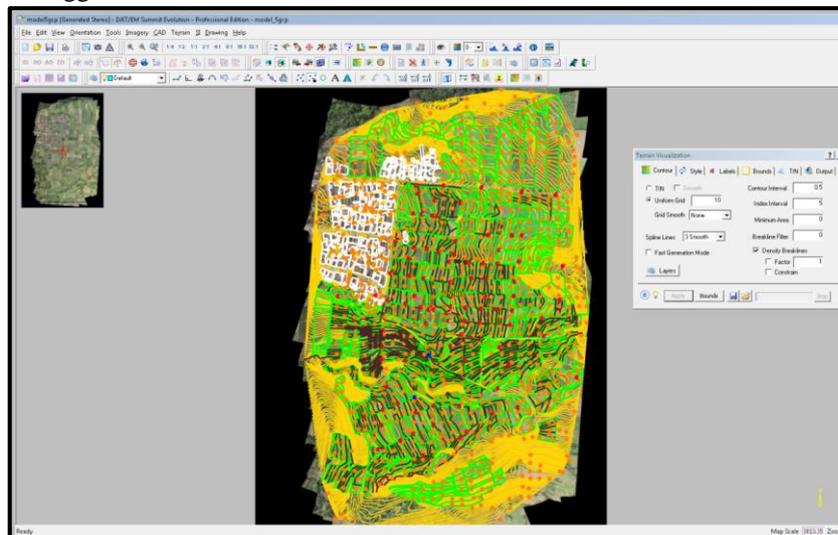
Gambar 3.4 *Block 1* (a), *Block 2* (b) dan *Block 3* (c)

Setelah foto terorientasi secara relatif, selanjutnya dilakukan proses orientasi absolut dengan membentuk hubungan antara sistem koordinat model terhadap sistem koordinat tanah,

menggunakan GCP sebagai referensi dalam pemrosesannya. Pada tahapan ini GCP dan CP diidentifikasi terlebih dahulu pada foto, kemudian dilanjutkan proses *Bundle Adjustment Self Calibration* menggunakan persamaan 2.12 dan 2.13, maka posisi foto udara akan terorientasi secara absolut berdasarkan sistem koordinat tanah dan *point cloud* juga secara otomatis akan terorientasi dalam sistem koordinat tanah. Sistem koordinat tanah yang digunakan adalah sistem koordinat dengan bidang datum WGS 1984 dan sistem proyeksi UTM. Selain orientasi posisi foto dan *point cloud*, residual titik kontrol dan titik cek dapat ditentukan. Pada teknik *in-flight*, nilai IOP (*Interior Orientation Parameter*) juga dapat ditentukan. Setelah *point cloud* terorientasi sistem koordinat tanah, maka dilanjutkan dengan pembuatan DSM (*Digital Surface Model*) berdasarkan *point cloud*. Selanjutnya dilakukan pembuatan *orthophoto* berdasarkan model foto yang sudah terorientasi absolut dan *point cloud* yang digunakan sebagai referensinya. Hasil dari pemrosesan ini meliputi IOP apabila menggunakan teknik *in-flight* kalibrasi, residual GCP dan CP, DSM serta *orthophoto* pada masing-masing pemrosesan yang dilakukan, yaitu hasil pemrosesan secara *in-field* kalibrasi pada *block 3* terhadap 9, 6 dan 3 GCP dan pada *block 3*, *block 2* dan *block 1* terhadap 9, 6 dan 3 GCP.

Plotting 3D

Pada tahap ini dilakukan *plotting 3D* pada *virtual reality* yang dibentuk dari DSM dan *orthophoto* menggunakan perangkat lunak *Summit Evolution* dan *AutoCAD Map 3D* yang terinstal pada perangkat *Digital Photogrammetry Workstation*. DSM dan *orthophoto* yang digunakan merupakan hasil pemrosesan foto udara menggunakan *Agisoft* sebelumnya yang memiliki nilai *residual error* yang paling kecil dari beberapa pemrosesan foto udara yang dilakukan. DSM dan *Orthophoto* dibentuk menjadi *virtual reality*, kemudian dilakukan *plotting 3D* pada fitur planimetris dan fitur ketinggian menggunakan kacamata 3D dan *stealth mouse 3D*.



Gambar 4. *Plotting 3D*

Fitur planimetris terdiri dari detil bangunan, detil jalan, detil sungai, detil vegetasi, dan detil pematang sawah. Sedangkan fitur ketinggian terdiri dari *masspoint* yang *diplotting* secara acak dan secara grid dengan interval ± 10 meter serta *breakline*. Setelah *plotting 3D* dilanjutkan pembuatan kontur dari fitur ketinggian hasil *plotting 3D* dan beberapa fitur planimetris seperti detil sungai, jalan dan pematang sawah.

Kartografi

Pada tahapan ini fitur planimetris, titik kontrol utama dan kontur diadd ke dalam ArcGIS. Kemudian dilakukan proses kartografi berupa pemberian notasi kontur dan titik kontrol, kemudian *layouting* peta. Pada penelitian ini dibuat peta topografi dengan skala 1 : 2000.

Analisa Data

Tahap ini merupakan analisa hasil pemrosesan foto udara menggunakan *Agisoft*. Analisa yang dilakukan meliputi : (1) analisa ketelitian geometri hasil pemrosesan teknik *in-field* dan *in-flight* kalibrasi; (2) analisa perbedaan konfigurasi pertampalan foto/ *block* foto dari *block* 1, *block* 2 dan *block* 3; (3) analisa akurasi data spasial dari perbedaan distribusi GCP yaitu 3, 6, dan 9 GCP; (4) analisa tingkat skala peta maksimal yang dapat dihasilkan dari masing-masing pmerosesan yang dilakukan berdasarkan penerapan *in-field* dan *in-flight* kalibrasi, jumlah GCP dan pertampalan foto, sesuai dengan standar ketelitian geometri ketentuan Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 5 Tahun 2014.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Nilai Parameter Kalibrasi *In-Field* dan *In-Flight*

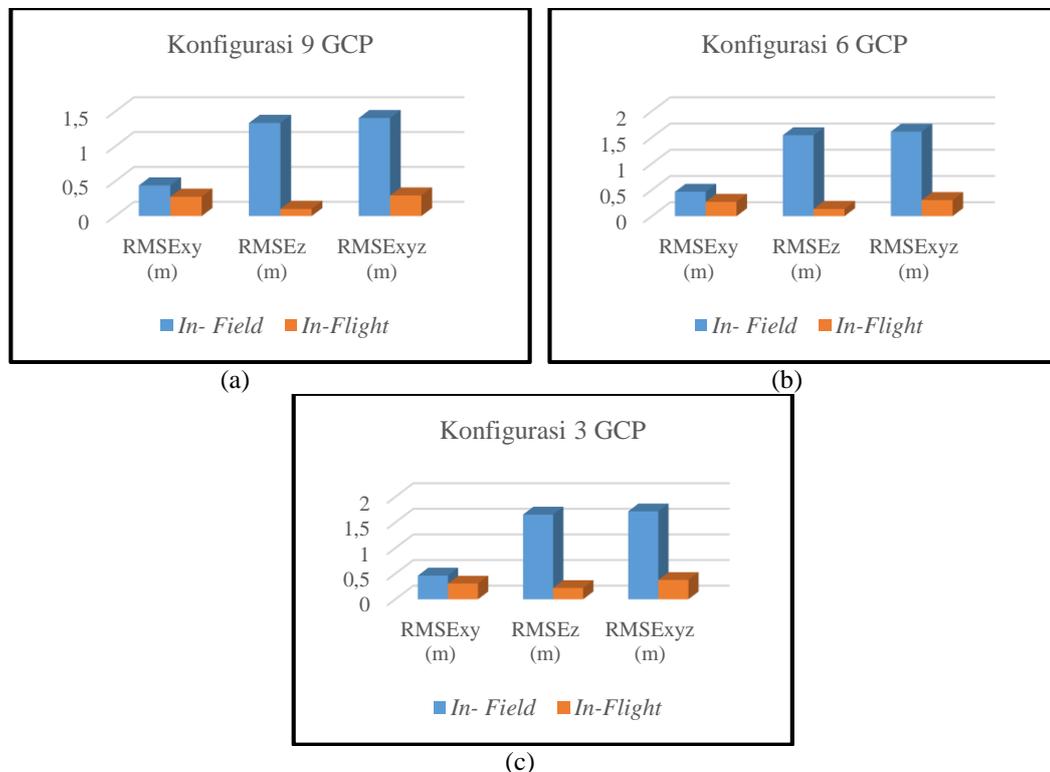
Tingkat stabilitas parameter IOP dapat ditunjukkan dengan kalibrasi kamera yang dilakukan pada dua sesi yang berbeda atau lebih. Pada penelitian ini dilakukan pada sesi yang berbeda, yaitu dengan teknik *in-field* dan teknik *in-flight*. Perbedaan nilai IOP antara teknik *in-field* dan teknik *in-flight* ditunjukkan pada Tabel 4.3. Berdasarkan Tabel 4.3, menunjukkan nilai IOP antara teknik *in-field* dengan teknik *in-flight* memiliki fraksi perbedaan yang relatif kecil, sekitar $2 \cdot 10^{-2}$ mm hingga $4 \cdot 10^{-8}$ mm. Walaupun fraksi perbedaannya relatif kecil akan tetapi perlu diingat bahwa kamera yang digunakan adalah kamera non-metrik yang memiliki ukuran sensor kecil dan akuisisi data yang dilakukan UAV pada ketinggian rendah, sehingga walaupun fraksi perbedaannya relatif kecil, hal tersebut berpotensi mempengaruhi kualitas ketelitian geometri yang dihasilkan. Pembuktian terhadap ketelitian geometri yang dihasilkan dijelaskan pada sub-bab IV.5.

Variable	<i>In-Field</i>	<i>In-Flight</i>	Perbedaan (mm)
	Value (mm)	Value (mm)	
c	5.336500	5.3456	9.E-03
XP	0.05640	0.07250	2.E-02
YP	-0.01340	-0.01710	4.E-03
K1	1.77.E-03	1.33.E-03	4.E-04
K2	-3.20.E-06	2.19.E-05	3.E-05
K3	-1.62.E-07	-2.03.E-07	4.E-08
P1	-4.71.E-04	-5.94.E-04	1.E-04
P2	1.21.E-04	2.39.E-04	1.E-04
B1	-2.19.E-04	-5.57.E-05	2.E-04
B2	-2.17.E-04	7.12.E-05	3.E-04
Perbedaan Terbesar =			4.E-08
Perbedaan Terkecil =			2.E-02

Perbandingan Ketelitian Geometri Teknik *In-Field* dan *In-Flight* Kalibrasi

Perbandingan ketelitian geometri antara penerapan teknik *in-field* dan *in-flight* kalibrasi dilakukan dengan analisa pada perbedaan kondisi, yaitu pada perbedaan konfigurasi GCP. Teknik *in-flight* menghasilkan nilai RMSE yang lebih baik dibandingkan dengan teknik *in-field* kalibrasi. Hasil perbandingan berdasarkan konfigurasi GCP menunjukkan bahwa selisih antara *in-field* dan *in-flight* pada konfigurasi 9GCP terhadap konfigurasi 6GCP dan konfigurasi 3GCP menunjukkan nilai yang kurang lebih sama atau dengan kata lain selisih perbandingan teknik *in field* dan *in flight* pada setiap konfigurasi GCP adalah konsisten menunjukkan perbedaan yang relatif sama. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat kesalahan yang sistematis yaitu terletak pada nilai IOP yang digunakan. Karena nilai IOP pada saat pemotretan udara (teknik *in-flight* kalibrasi) berbeda dengan nilai IOP pada saat kalibrasi dilapangan (teknik *in-field* kalibrasi).

	<i>In-Field</i>	<i>In-Flight</i>	Selisih
Konfigurasi 9GCP			
RMSE _{xy} (m)	0.439452314	0.27634516	0.163107
RMSE _z (m)	1.334752757	0.102477156	1.232276
RMSE _{xyz} (m)	1.405234236	0.294734143	1.1105
Konfigurasi 6GCP			
RMSE _{xy} (m)	0.464401591	0.273160728	0.191241
RMSE _z (m)	1.54172606	0.138914086	1.402812
RMSE _{xyz} (m)	1.610151571	0.30645376	1.303698
Konfigurasi 3GCP			
RMSE _{xy} (m)	0.462992471	0.306000454	0.156992
RMSE _z (m)	1.654086447	0.221644303	1.432442
RMSE _{xyz} (m)	1.717662365	0.377839218	1.339823



Gambar 5. Diagram perbedaan akurasi geometri *in-field* dan *in-flight* pada konfigurasi 9GCP (a), 6 GCP (b) dan 3 GCP (c)

Perbedaan terbesar terletak pada RMSEz, maka dapat dikatakan bahwa ketidak-stabilan kamera sangat berpengaruh pada ketelitian geometri vertikal yang dihasilkan. Sehingga untuk mengatasi ketidak-stabilan kamera diperlukan teknik *in-flight* kalibrasi dalam pemrosesannya.

Perbandingan Ketelitian Geometri Pada Block 1, Block 2 dan Block 3

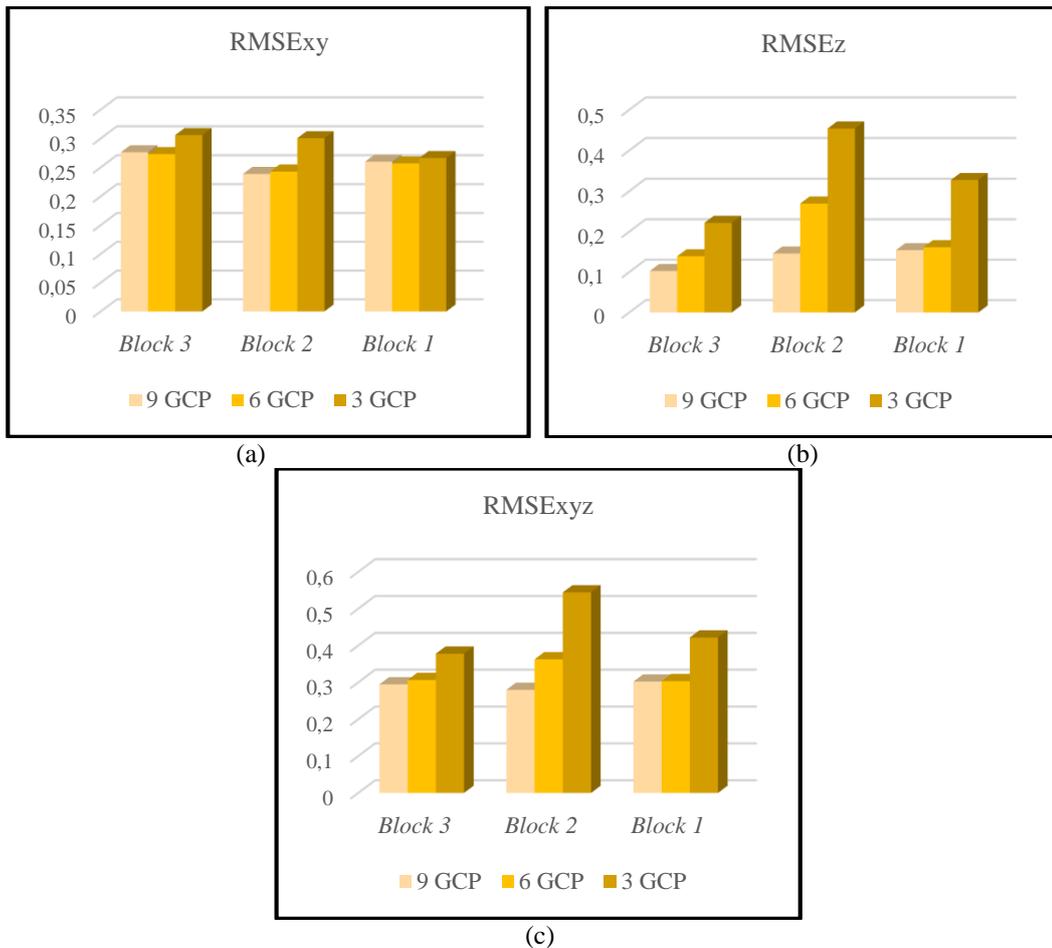
Perbandingan ketelitian geometri pada *block 1*, *block 2* dan *block 3* dilakukan berdasarkan RMSExy, RMSEz dan RMSExyz pada setiap konfigurasi GCP. Perbedaan RMSExy pada setiap *block* relatif sama. Sedangkan pada RMSEz dan RMSExyz menunjukkan perbedaan setiap *block* yang tidak teratur. Sehingga dapat dikatakan perbedaan *block* atau pertampalan foto pada penelitian ini tidak mempengaruhi ketelitian geometri yang dihasilkan.

	9 GCP	6 GCP	3 GCP
RMSExy (m)			
<i>Block 3</i>	0.2763452	0.2731607	0.3060005
<i>Block 2</i>	0.2388672	0.2429928	0.3006153
<i>Block 1</i>	0.2599613	0.257043	0.2663313
RMSEz (m)			
<i>Block 3</i>	0.1024772	0.1389141	0.2216443
<i>Block 2</i>	0.1457079	0.2693087	0.4538788
<i>Block 1</i>	0.1540981	0.1613395	0.3272207
RMSExyz (m)			
<i>Block 3</i>	0.2947341	0.3064538	0.3778392
<i>Block 2</i>	0.2798005	0.3627295	0.5444039
<i>Block 1</i>	0.3022021	0.3034823	0.4219073

Hal tersebut dikarenakan konfigurasi antara *block* foto yang tidak jauh berbeda, *block 1* merupakan *block* foto dengan konfigurasi pertampalan *forelap* $80\% \pm 5\%$ *sidelap* $70\% \pm 5\%$, dan *block 2* dengan pertampalan *forelap* $90\% \pm 5\%$ *sidelap* $70\% \pm 5\%$, serta *block 3* merupakan gabungan diantara keduanya. Konfigurasi semua *block* foto mempunyai nilai pertampalan berada diatas 60% yang artinya tidak ada foto pada setiap konfigurasi *block* yang tidak mengalami pertampalan penuh dan tidak terdapat gab pada setiap *block* foto, sehingga dapat dikatakan bahwa perbedaan antara konfigurasi pertampalan pada *block* foto yang masing-masing konfigurasi pertampalan berada diatas 60% , tidak mempengaruhi ketelitian geometri yang dihasilkan.

Perbandingan Ketelitian Geometri Pada Variasi GCP

Perbandingan ketelitian geometri pada variasi GCP dilakukan berdasarkan setiap konfigurasi *block* foto, dengan maksud untuk mengetahui perbedaan hasil ketelitian geometri dari konfigurasi GCP yang digunakan. RMSEz dan RMSExyz menunjukkan perbedaan ketelitian yang linier dari penggunaan konfigurasi 9 GCP, 6 GCP dan 3 GCP. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak GCP yang digunakan semakin baik ketelitian ketinggian atau RMSEz dan RMSExyz yang dihasilkan. Pada ketelitian horisontal, nilai RMSExy yang dihasilkan antara penggunaan konfigurasi 9, 6 dan 3 GCP cenderung tidak teratur, sehingga dapat dikatakan bahwa perbedaan konfigurasi GCP antara 9, 6 dan 3 GCP, tidak mempengaruhi ketelitian horisontal (RMSExy) yang dihasilkan.



Gambar 6. Grafis perbedaan konfigurasi GCP setiap *block* pada RMSExy (a), RMSEz (b) dan RMSExyz (c)

Tingkat akurasi vertikal terbaik dari beberapa konfigurasi pemrosesan diperoleh dari pemrosesan dengan konfigurasi *block 3* menggunakan 9 GC, ditunjukkan dengan nilai RMSEz sebesar **0.1024 m**. Sedangkan tingkat akurasi horisontal terbaik diperoleh dari pemrosesan dengan konfigurasi *block 2* menggunakan 9 GCP, ditunjukkan dengan nilai RMSExy sebesar **0.2798 m**. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dari segi ketelitian vertikal konfigurasi *block 3* menggunakan 9 GCP lebih baik daripada konfigurasi yang lain, serta dari segi ketelitian horisontal konfigurasi *block 2* menggunakan 9GCP lebih baik daripada konfigurasi yang lain.

RMSExy (m)			
	<i>Block 3</i>	<i>Block 2</i>	<i>Block 1</i>
9 GCP	0.27635	0.23887	0.25996
6 GCP	0.27316	0.24299	0.25704
3 GCP	0.306	0.30062	0.26633
RMSEz (m)			
	<i>Block 3</i>	<i>Block 2</i>	<i>Block 1</i>
9 GCP	0.10248	0.14571	0.1541
6 GCP	0.13891	0.26931	0.16134
3 GCP	0.22164	0.45388	0.32722
RMSExyz (m)			
	<i>Block 3</i>	<i>Block 2</i>	<i>Block 1</i>
9 GCP	0.29473	0.2798	0.3022
6 GCP	0.30645	0.36273	0.30348
3 GCP	0.37784	0.5444	0.42191

Analisa Tingkat Skala Peta Maksimal

Analisa tingkat skala peta maksimal dilakukan berdasarkan standar Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014. Skala horisontal maksimal terbesar diperoleh dari pemrosesan foto dengan konfigurasi *block 2* menggunakan 9 GCP. Sedangkan skala vertikal maksimal terbesar diperoleh dari pemrosesan foto dengan konfigurasi *block 3* menggunakan 9 GCP.

Skala Horisontal Maksimal			
Teknik <i>In-Field</i> Kalibrasi			
Block 3	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
9 GCP	1 : 3334.34	1 : 2222.90	1 : 1333.74
6 GCP	1 : 3523.65	1 : 2349.10	1 : 1409.46
3 GCP	1 : 3512.96	1 : 2341.97	1 : 1405.18
Teknik <i>In-Flight</i> Kalibrasi			
Block 3	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
9 GCP	1 : 2096.77	1 : 1397.85	1 : 838.71
6 GCP	1 : 2072.61	1 : 1381.74	1 : 829.04
3 GCP	1 : 2321.78	1 : 1547.85	1 : 928.71
Block 2	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
9 GCP	1 : 1812.40	1 : 1208.27	1 : 724.96
6 GCP	1 : 1843.71	1 : 1229.14	1 : 737.48
3 GCP	1 : 2280.92	1 : 1520.61	1 : 912.37
Block 1	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
9 GCP	1 : 1972.46	1 : 1314.97	1 : 788.98
6 GCP	1 : 1950.31	1 : 1300.21	1 : 780.13
3 GCP	1 : 2020.79	1 : 1347.19	1 : 808.32

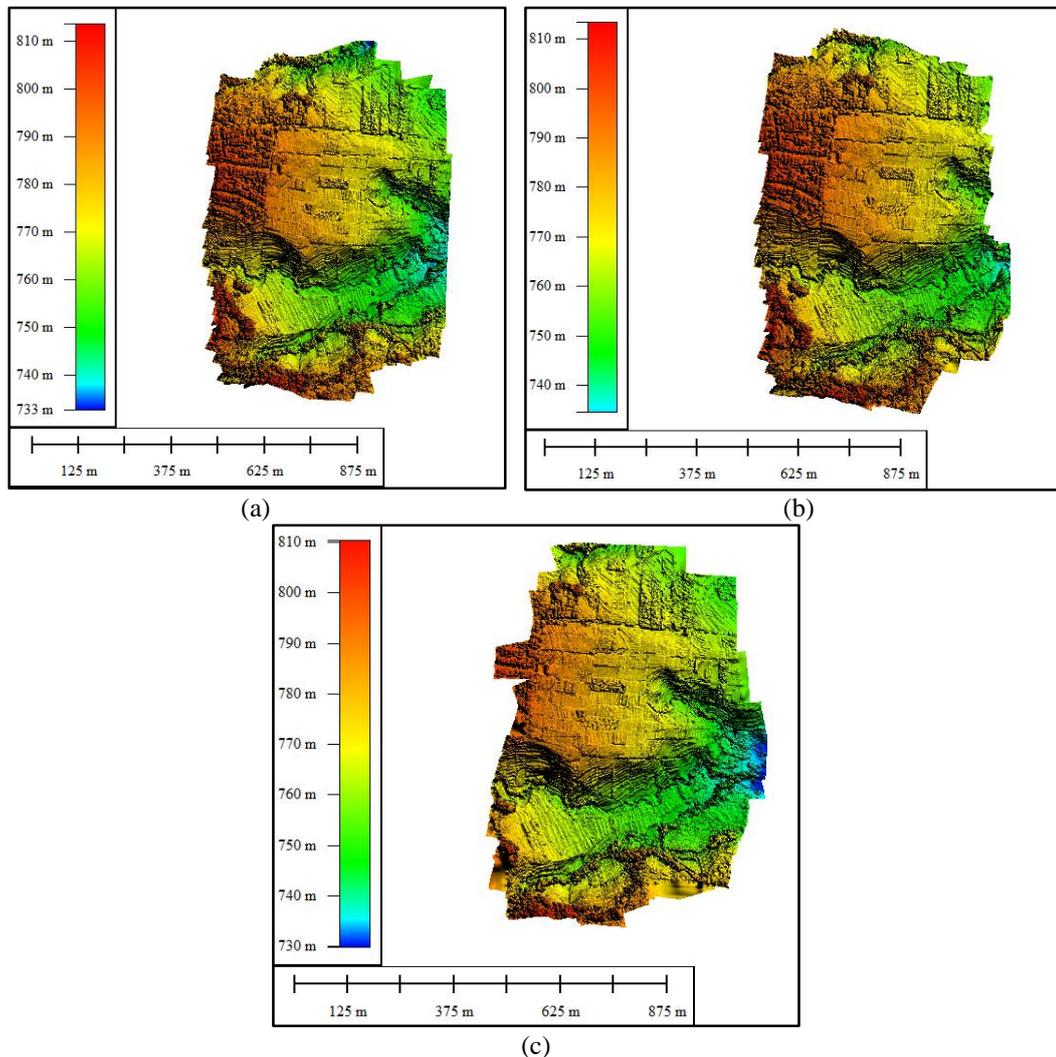
Interval Kontur Maksimal (m)				Skala Vertikal Maksimal		
Teknik <i>In-Field</i> Kalibrasi						
Block 3	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
9 GCP	4.39	1.46	0.88	1 : 8782.14	1 : 2927.38	1 : 1756.43
6 GCP	5.07	1.69	1.01	1 : 10143.94	1 : 3381.31	1 : 2028.79
3 GCP	5.44	1.81	1.09	1 : 10883.23	1 : 3627.74	1 : 2176.65
Teknik <i>In-Flight</i> Kalibrasi						
Block 3	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
9 GCP	0.34	0.11	0.07	1 : 674.26	1 : 224.75	1 : 134.85
6 GCP	0.46	0.15	0.09	1 : 914.00	1 : 304.67	1 : 182.80
3 GCP	0.73	0.24	0.15	1 : 1458.33	1 : 486.11	1 : 291.67
Block 2	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
9 GCP	0.48	0.16	0.10	1 : 958.70	1 : 319.57	1 : 191.74
6 GCP	0.89	0.30	0.18	1 : 1771.94	1 : 590.65	1 : 354.39
3 GCP	1.49	0.50	0.30	1 : 2986.34	1 : 995.45	1 : 597.27
Block 1	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
9 GCP	0.51	0.17	0.10	1 : 1013.90	1 : 337.97	1 : 202.78
6 GCP	0.53	0.18	0.11	1 : 1061.55	1 : 353.85	1 : 212.31
3 GCP	1.08	0.36	0.22	1 : 2152.98	1 : 717.66	1 : 430.60

Berdasarkan standar ketelitian BIG ketelitian dari konfigurasi *block 3* menggunakan 9 GCP, meliputi : pada kelas 1 untuk skala horisontal maksimal adalah **1 : 2096.77** dan skala vertikal maksimal adalah **1 : 674.26**. Kelas 2 untuk skala horisontal maksimal adalah **1 : 1397.85** dan skala

vertikal maksimal adalah **1 : 224.75**. Kelas 3 untuk skala horisontal maksimal adalah **1 : 838.71** dan skala vertikal maksimal adalah **1 : 134.85**. Sedangkan, konfigurasi *block 2* menggunakan 9 GCP, meliputi : kelas 1 diperoleh skala horisontal maksimal adalah **1 : 1812** dan skala vertikal maksimal adalah **1 : 958.70**. Kelas 2 untuk skala horisontal maksimal adalah **1 : 1208.27** dan skala vertikal maksimal adalah **1 : 319.57**. Kelas 3 untuk skala horisontal maksimal adalah **1 : 724.96** dan skala vertikal maksimal adalah **1 : 191.74**.

DSM (*Digital Surface Model*)

DSM (*Digital Elevation Model*) berikut ini merupakan hasil dari pemrosesan menggunakan perangkat lunak *Agisoft Photoscan* dengan konfigurasi *block 3*, *block 2*, dan *block 1*. DSM yang dibentuk sangat detil dan menunjukkan sesuai dengan keadaan topografi sebenarnya. Hal tersebut dilihat dari bentuk geometri pada bangunan, sawah dan jalan yang terbentuk sesuai dengan keadaan sebenarnya. Secara visual DSM yang dihasilkan dari perbedaan konfigurasi *block* foto menunjukkan DSM *block 3* lebih luas cakupannya daripada DSM *block 2*, dan DSM *block 2* lebih luas cakupannya daripada DSM *block 1*. Hal tersebut dikarenakan perbedaan jumlah foto pada konfigurasi *block* foto yang digunakan.



Gambar 7. DSM dari Konfigurasi *Block 3* (a), *Block 2* (b) dan *Block 1* (c)

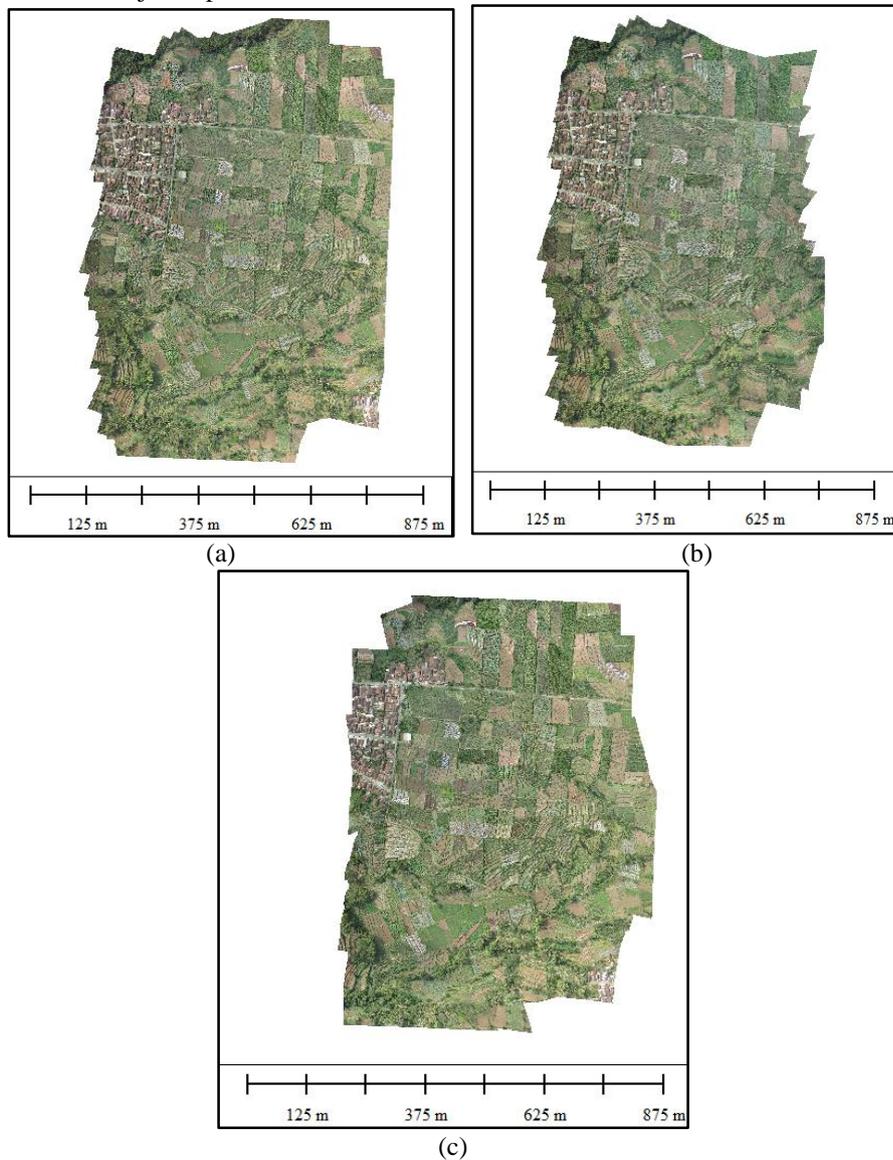
Resolusi per piksel yang dihasilkan pada DSM *block 1*, *block 2* dan *block 3* adalah relatif sama. Sedangkan pada titik kerapatannya (*point density*), DSM dengan konfigurasi *block 3* lebih banyak titik kerapatannya daripada DSM dengan konfigurasi *block 2* dan DSM dengan konfigurasi *block 2*

lebih banyak titik kerapatannya daripada DSM dengan konfigurasi *block 1*. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar tingkat pertampalan foto, maka semakin banyak titik kerapatannya (*point density*) pada DSM yang dihasilkan.

DSM	Resolusi (m/pix)	Point Density (Point/ sq m)
Block 3	0.290018	60.3357
Block 2	0.282369	49.3026
Block 1	0.308554	27.2193

Orthophoto

Orthophoto yang dihasilkan dari penelitian ini merupakan hasil pemrosesan fotogrametri digital secara otomatis menggunakan perangkat lunak *Agisoft Photoscan* dengan konfigurasi *block 3*, *block 2*, dan *block 1*, ditunjukkan pada Gambar 8.



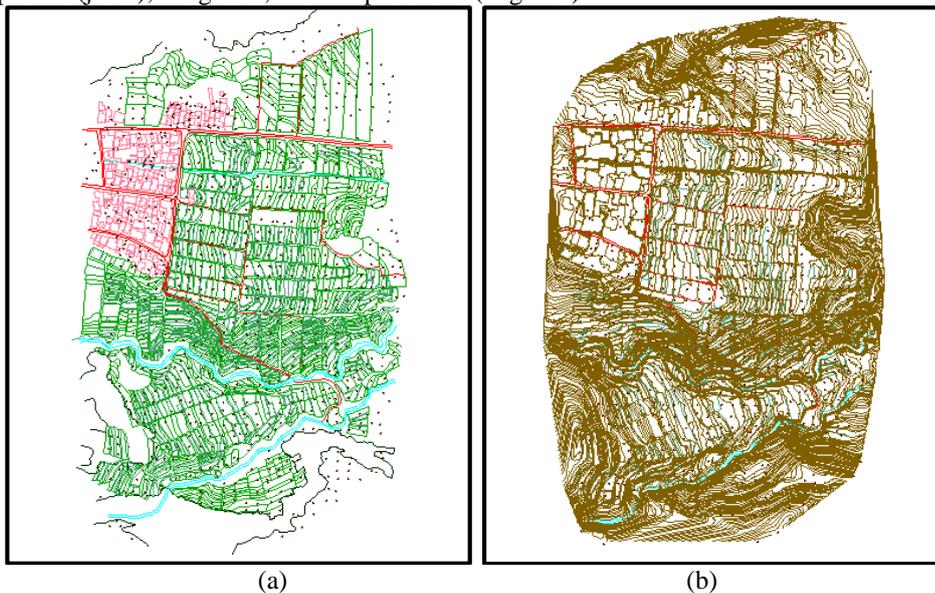
Gambar 8. *Orthophoto* dari Konfigurasi *Block 3* (a), *Block 2* (b) dan *Block 1* (c)

Perbedaan hasil pemrosesan *orthophoto* secara otomatis pada perbedaan konfigurasi *block* foto ditunjukkan dengan nilai *ground resolution orthophoto* yang dihasilkan setiap masing-masing *block*

foto. *Ground resolution* pada *orthophoto* dengan konfigurasi *block 3* adalah **0.0783601 m/pix**, *ground resolution* pada *orthophoto* dengan konfigurasi *block 2* adalah **0.0730021 m/pix**, dan *ground resolution* pada *orthophoto* dengan konfigurasi *block 1* adalah **0.0910296 m/pix**. Dari ketiga konfigurasi *block* foto, nilai *ground resolution*nya relatif sama. Karena, dari ketiga konfigurasi *block* menggunakan tinggi terbang dan sensor yang sama.

Hasil Plotting 3D

Hasil dari proses *plotting 3D* menggunakan perangkat lunak *Summit Evolution* dan terintegrasi dengan *AutoCAD* adalah detil planimetris dan ketinggian dari unsur permukaan bumi. Detil tersebut berupa data vektor yang *diplotting* secara 3D pada *virtual reality* yang dibentuk dari *orthophoto* dan DSM, menggunakan perangkat lunak *Summit Evolution* yang terintegrasi dengan *AutoCAD*. Unsur-unsur permukaan bumi hasil *plotting 3D* meliputi unsur perairan, *breaklines*, *masspoint*, jaringan transportasi (jalan), bangunan, dan tutupan lahan (vegetasi).



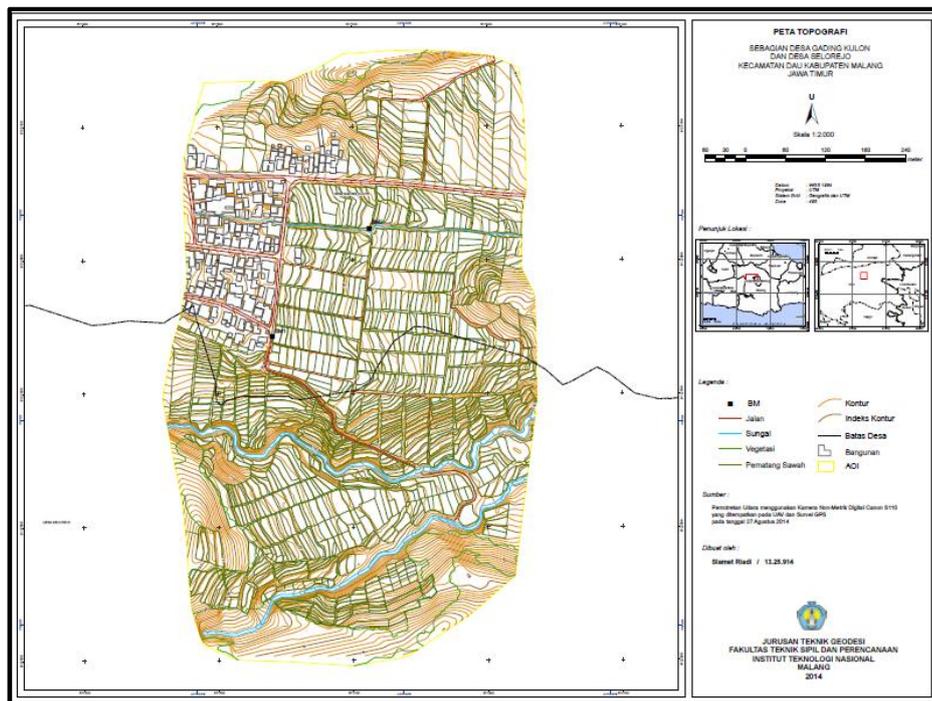
Gambr 9. Vektor 3D Detil Topografi (a) dan Kontur (b)

Kontur

Kontur merupakan representasi ketinggian permukaan tanah dalam bentuk garis yang dibentuk berdasarkan detil topografi berupa *messpoint*, *breaklines*, sungai, jalan dan pematang sawah hasil d proses *plotting 3D*. Hasil kontur yang dibuat menggunakan perangkat lunak *Summit Evolution* yang terintegrasi dengan *AutoCAD*, ditunjukkan pada Gambar 9b.

Peta Topografi

Hasil proses kartografi adalah peta topografi dengan skala 1: 2000 yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambr 10. Peta Topografi

PENUTUP

Ksimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Pemrosesan fotogrametri digital dengan teknik *in-flight* kalibrasi dapat mengatasi ketidak-Kamera non-metrik memiliki ketidak-stabilan nilai IOP, ditunjukkan dengan hasil kalibrasi pada dua sesi yang berbeda, yaitu pada teknik *in-field* dan teknik *in-flight*, diperoleh fraksi perbedaan yang relatif kecil sekitar $2 \cdot 10^{-2}$ mm hingga $4 \cdot 10^{-8}$ mm, tetapi pada ketelitian geometri data spasial yang dihasilkan menunjukkan ketelitian horisontal teknik *in-flight* sekitar **1.5** hingga **1.7 kali** lebih baik dari teknik *in-field*, dan ketelitian vertikal teknik *in-flight* sekitar **7.5** hingga **13 kali** lebih baik dari teknik *in-field*. Dengan kata lain, ketidak-stabilan kamera non-metrik berpengaruh besar terhadap ketelitian geometri data spasial yang dihasilkan. Sehingga dapat dikatakan penerapan teknik *in-flight* kalibrasi merupakan solusi pada pemrosesan fotogrametri digital untuk mengatasi ketidak-stabilan nilai IOP pada kamera non-metrik.
2. Pengaruh terbesar dari perbedaan konfigurasi GCP terletak pada aspek ketelitian geometri vertikalnya, semakin banyak distribusi GCP yang digunakan semakin baik ketelitian geometri vertikal yang dihasilkan. Ketelitian geometri vertikal terbaik diperoleh dari konfigurasi **block 3** menggunakan **9 GCP**, dengan nilai RMSE vertikal sebesar **0.1025 m**. Sedangkan pada aspek horisontal, pada perbedaan konfigurasi GCP

menunjukkan ketelitian geometri pada setiap konfigurasi adalah relatif sama berkisar **0.2389 m** sampai dengan **0.2764 m**.

3. Ketelitian horisontal yang dihasilkan dibandingkan dengan nilai GSD lebih rendah berkisar **3.3** hingga **4.3 kali**. Sehingga solusi dalam pemrosesan fotogrametri digital untuk menghasilkan ketelitian horisontal yang diinginkan, disesuaikan dengan nilai GSDnya, yaitu dengan menentukan ketelitian GSD lebih tinggi berkisar **3.3** hingga **4.3 kali** dari ketelitian horisontal yang diinginkan. Dari nilai GSD dapat ditentukan konfigurasi tinggi terbang dan kualitas sensor yang akan digunakan.
4. Perbedaan antara konfigurasi pertampalan pada *block* foto yang masing-masing konfigurasi pertampalan berada diatas 60%, tidak mempengaruhi ketelitian geometri yang dihasilkan.
5. Berdasarkan ketentuan BIG, ketelitian geometri yang dihasilkan telah memenuhi ketentuan skala besar. Skala peta maksimal dari konfigurasi *block 3* menggunakan **9 GCP** pada **kelas 1** diperoleh skala horisontal maksimal sebesar **1 : 2097** dan skala vertikal maksimal sebesar **1 : 674**. Sedangkan skala peta maksimal dari konfigurasi *block 2* menggunakan **9 GCP** pada **kelas 1** diperoleh skala horisontal maksimal sebesar **1 : 1812** dan skala vertikal maksimal sebesar **1 : 959**.
6. Peta topografi yang dihasilkan merupakan peta topografi 1 : 2000 yang dibentuk berdasarkan DSM dan *orthophoto* hasil pemrosesan foto pada konfigurasi *block 3* menggunakan 9 GCP. Sehingga peta tersebut memenuhi standar **skala horisontal kelas 2** dan standar **skala vertikal kelas 1** untuk skala 1 : 2000.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, Rizka. 2011. Pemodelan Tiga Dimensi Menggunakan Metode Fotogrametri Rentang Dekat Untuk Perpipaan (Studi Kasus : Stasiun Kompresor Gas Tegal Gede, Bekasi). Skripsi. Tidak diterbitkan.
- Anonim. 2013. *Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3 : National Standard for Spatial Data Accuracy*.
<https://www.fgdc.gov/standards/projects>. 17 September 2014.
- BIG. 2014. Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 : Ketelitian Peta Dasar.
- Fraser, C. (2011, April 10). Camera Calibration Method. (R. Akmalia, Pewawancara)
- Gularso, Herjuno. 2013. *Uji Pemotretan Udara Menggunakan Pesawat Model Skywalker 1680*. Skripsi. Tidak Diterbitkan.
- Harintaka, Adhi Susanto dan Subaryono. 2007. Pemodelan Ketidakstabilan Kamera dan Gerakan Pesawat Pada Saat Pemotretan Foto Udara Format Kecil. Artikel UGM.
- Harintaka. 2008. Evaluasi Penerapan *Mini Bundle Block Adjustment* Pada Foto Udara Format Kecil. Thesis. Tidak Diterbitkan.
- Harintaka. 2011. Pengembangan Pemrosesan Fotogrametri Digital Foto Udara Format Kecil untuk Penyediaan Data Spasial. Disertasi. Tidak Diterbitkan.
- Juliyana, Wan. 2012. *Ketepatan Planimetris Foto Udara Digital Unmanned Aerial Vehicle untuk Menyokong Pemetaan Berskala Besar*. Tesis Sarjana Sains Universiti Teknologi Malaysia.

- Kentjana, Arina Nada. 2013. Pemetaan Topografi untuk Rencana Jalur Pipa Migas dengan Metode Fotogrametri Berbasis Wahana Udara Tanpa Awak (UAV) (Wilayah Studi : Cepu). Skripsi. Tidak Diterbitkan.
- Lingua, Andrea. Marenchino, Davide and Nex, Francesco. 2009. *Performance Analysis of the SIFT Operator for Automatic Feature Extraction and Matching in Photogrammetric Applications. Sensors* **2009**, 9, 3745-3766 doi:10.3390/s90503745
- Mukhlas. 2014. *Pembuatan DSM dari citra foto UAV menggunakan software Agisoft PhotoScan Versi 0.9*. Skripsi. Tidak Diterbitkan.
- Moffitt, Francis H. and Mikhail, Edward M. 1980. *Photogrammetry* : Third Edition. Harper & Row Publisher, New York.
- Mikhail, Edward M dkk. 2001. *Introduction to Modern Photogrammetry*. John Wiley & Sons. Inc, New York.
- O. Küng, C. Strecha, A. Beyeler, J.-C. Zufferey and D. Floreano et al. *The Accuracy of Automatic Photogrammetric Techniques on Ultra-light UAV Imagery*. UAV-g 2011 - Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zürich, CH, September 14-16, 2011.
- Pantinema, Leo dan Purwanto, Hery. 2010. Pemanfaatan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* Untuk Pemetaan, *Jurnal Spectra FTSP ITN Malang*. **15 (VIII)** : 16-26.
- Pranadita, Sekar. 2013. *Pembuatan Model Elevasi Digital dari Stereoplotting Interaktif Foto Udara Format Sedang Kamera DigiCam*. Skripsi. Jurusan Teknik Geodesi UGM.
- Paramita, Kanya. 2013. Penggunaan Pencocokan String Metode Booyer-Moore dalam Digital Image Matching untuk Foto Udara Ideal. Makalah IF2211 Strategi Algoritma Tahun 2013/2014
- Rahman, F. A., Setan, H., Albert, C. K., Majid, Z., & Ahmad, A. (2005). *Comparison of Camera Calibration Parameters Using Photomodeler and Australis*.
- Rafsanjani, Farrid. 2008. Pengambilan Data 2,5D Untuk Visualisasi Kota 3D. Skripsi. Jurusan Teknik Geodesi ITB.
- Satyagama, Dillan. 2013. Fotogrametri Berbasis Wahana Udara Tanpa Awak (Unmanned Aerial Vehicle) untuk Pembuatan DTM Lanskap Sekitar Sungai Ciliwung Wilayah Ciawi – Jawa Barat. Skripsi. Tidak diterbitkan.
- Shortis, M. R., & Snow, W. L. (1995). *Calibration of CCD cameras for field and frame captures modes. Conference on Digital Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Stansaa, G. L., 2007, *US Geological survey Digital aerial mapping camera certification and quality assurance plan for digital imagery*, Photogrammetric Week 2007.
- Turner, Darren; Lucieer, Arko; Watson, Christopher. 2013. "An Automated Technique for Generating Georectified Mosaics from Ultra-High Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery, Based on Structure from Motion (SfM) Point Clouds" *Remote Sens.* 4, no. 5: 1392-1410.
- Warner, W. S. , Graham, R. W., and Read, R. E. , 1990. *Small Format Aerial Photography*, ISBN 1-870325-56-7, Whittles Publishing, Scotland, UK.
- Wikantika. K. 2009. Unmanned Mapping Technology : Development and Applications. Workshop Sehari "Unmanned Mapping Technology: Development and Applications". (UnMapTech2008). Bandung, Indonesia. 9 Juni 2008.
- Wijayanti, Miim. 2008. Ujicoba Penentuan Unsur-Unsur Orientasi Dalam Kamera Digital Non-Metrik Dengan Metode Pendekatan Sederhana (Studi Kasus : Kamera Nikon Coolpix 7900). Skripsi. Tidak Diterbitkan.
- Wolf, P.R., 1983, *Elements of Photogrammetry*, 2nd edition, McGraw-Hill Book Company, USA.
- Wojtas, A. M. (2010). *Off-the-Shelf Close Range Photogrammetric software for cultural heritage documentation at stonehenge*.