

Martince Novianti Bani
ANALISIS KERAPATAN 3D POINT CLOUDS PADA UAV FOTOGRAMETRI
Jurnal *Qua Teknika*, (2022), 12(1): 45-57

6

ANALISIS KERAPATAN 3D POINT CLOUDS PADA UAV FOTOGRAMETRI

Martince Novianti Bani

Politeknik Negeri Malang

e-mail: novianti_mb@polinema.ac.id

ABSTRAK:

Ketersediaan Informasi Spasial merupakan salah satu faktor utama untuk mengoptimalkan perencanaan pembangunan. Disisi lain, peningkatan kebutuhan data spasial berskala detail terus diupayakan untuk memenuhi tantangan tersebut. Salah satu upaya untuk percepatan penyediaan data dan informasi spasial dengan memanfaatkan teknologi pemetaan dengan wahana *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). UAV dipandang efektif dan efisien baik itu dari segi waktu maupun biaya. Keakuratan yang dihasilkan oleh citra dari UAV pun terus ditingkatkan. Salah satunya adalah melakukan studi lebih lanjut terhadap data yang dihasilkan oleh wahana UAV yakni peningkatan kerapatan *point cloud*. Pada penelitian ini, dilakukan analisis kerapatan 3D *point clouds* dan keakuratan kerapatan 3D *point clouds* tersebut direalisasikan dengan mengidentifikasi sejumlah *tie points* yang ideal pada lokasi *von gruber* kemudian diterapkan *filtering*. Setiap nilai hasil *filtering tie points* akan diproses kembali dengan menerapkan perhitungan *bundle adjustment* serta penambahan variabel lainnya. Ketelitian dari sejumlah *Point clouds* yang dihasilkan dari berbagai variasi jumlah *tie points*, ditentukan berdasarkan nilai RMSEnya.

KATA KUNCI: *Tie Point, Filtering, Point Clouds, UAV, Fotogrametri*

ABSTRACT:

The availability of Spatial Information is one of the main factors for optimizing development planning. On the other hand, the increasing of spatial data in detailed-scale continues to be pursued to reach these challenges of the Spatial Information availability. One of the efforts to accelerate the provision of spatial data and information by utilizing mapping technology with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) vehicles. UAV is seen as effective and efficient both in terms of time and cost. The accuracy from the generated image by UAV continues to be improved. One of them is to conduct further studies on the generated data by the UA, such as the increase in point cloud density. In this research, the density analysis of 3D point clouds is carried out and the accuracy of the density of 3D point clouds is realized by identifying a number of ideal tie points at the von Gruber location and then applying the filter. Each value of the filtering tie points will be reprocessed by applying a bundle adjustment calculation and adding other variables. The accuracy of a number of point clouds that generated from various variations in the number of tie points is determined based on the RMSE value.

KEY WORDS: *Tie Point, Filtering, Point Clouds, UAV, photogrammetry*

PENDAHULUAN

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) (Schneider, 2014) dengan memanfaatkan fotogrametri merupakan teknologi yang beberapa tahun terakhir ini mengalami perkembangan sangat pesat untuk memenuhi permintaan pemetaan resolusi tinggi. Hasil pengukuran dengan memanfaatkan wahana ini kemudian ditransformasikan menjadi 3D *point cloud* tergeoreferensi menggunakan GPS/IMU. 3D *Point cloud* digunakan untuk mengekstraksi DEM yang merepresentasikan permukaan bumi. Akurasi dalam pemetaan dengan menggunakan wahana UAV yang berbasis pada fotogrametri diinterpretasikan sebagai akurasi relatif dan absolut. Akurasi relatif merupakan pengukuran dimana objek diposisikan relatif terhadap model yang direkonstruksi dalam hal ini berupa peta orthofoto, DSM atau 3d *point cloud*. Sedangkan, akurasi absolut sendiri mengacu pada perbedaan antara lokasi objek yang direkonstruksi dengan posisi sebenarnya di permukaan bumi.

Akurasi absolut sangat bergantung pada akurasi relatif. Oleh karena itu, dalam upaya untuk meningkatkan akurasi absolut maka diperlukan peningkatan kerapatan *point cloud*. *Point cloud* merupakan representasi dari permukaan bumi dalam bentuk titik-titik elevasi (Furukawa dkk., 2009; Yang dkk., 2013). Untuk memperoleh 3D *point cloud* tergeoreferensi, maka terlebih dahulu sepasang citra di suatu area dianalisis. Citra tersebut harus teregistrasi secara geometri satu terhadap yang lainnya. Registrasi *image-to-image* melibatkan beberapa hal sebagai berikut (1) identifikasi *Image Tie Point* (ITP), (2) transformasi koordinat *pixel* ke koordinat ruang, dan (3) proses resampling pada hasil transformasi. Langkah 2 dan 3 merupakan proses yang relatif terstandarisasi. Sedangkan untuk langkah pertama, teknik otomatisasi untuk mendeteksi *tie point* terus dikembangkan sehingga dapat mempercepat proses pengolahan citra. *Tie points* merupakan titik-titik pada foto yang mewakili lokasi yang sama pada foto yang bertampalan. Selain sebagai penghubung antar foto, *tie point* juga bertujuan untuk membuat mosaik foto. *Tie point* maupun *point cloud* diperoleh dari proses pencocokan citra. Dari hasil pencocokan citra ini kemudian dilakukan proses *bundle adjustment* yang merupakan model perhitungan matematis untuk mencari parameter *Exterior Orientation* (EO) dengan persamaan kolinear. Dengan menerapkan proses tersebut maka diperoleh 3D *point clouds* yang merepresentasikan model permukaan bumi digital dari foto dengan menggunakan wahana UAV.

Oleh karena itu, pada penelitian ini diidentifikasi posisi *tie point* pada lokasi-lokasi spesial (lokasi *von Gruber*), dan penelitian ini juga dimaksudkan untuk menganalisis pengaruh *tie point* terhadap keakurasian 3D *point clouds*. Selain itu, metode *filtering* terhadap titik-titik sekutu (*tie points*) juga dikaji.

METODE dan DATA

Data

Dalam penelitian ini, data foto diperoleh dengan menggunakan wahana UAV tipe fixed-wing skywalker 2013 1880 mm, sedangkan kamera yang digunakan adalah jenis Sony QX 10 (18mp), dengan pertampalan *sidelap* sebesar > 50%, dan overlap sebesar 50%. Tinggi terbang Pesawat adalah 250 m, dengan jumlah jalur terbang sebanyak 3 jalur. Kemudian, jarak antar jalur sebesar 150 m, dengan GSD 0.5 cm/pixel. GCP diperoleh dengan menggunakan GPS RTK SOUTH S86T.

Martince Novianti Bani
ANALISIS KERAPATAN 3D POINT CLOUDS PADA UAV FOTOGRAMETRI
 Jurnal *Qua Teknika*, (2022), 12(1): 45-57

Metode

Dalam proses mengekstraksi nilai koordinat *tie points* menggunakan teknik pencocokan citra, sehingga nilai korelasi antara kedua foto yang bertampalan dihitung berdasarkan persamaan (1) (Mitchell dan Pilgrim, 1987; Schenk, 1999; Wolf dan Dewitt, 2000; Campbell dkk., 2008):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C (g_T(i,j) - \bar{g}_T)(g_S(i,j) - \bar{g}_S)}{\sqrt{\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C (g_T(i,j) - \bar{g}_T)^2 \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C (g_S(i,j) - \bar{g}_S)^2}} \quad (1)$$

Dimana,

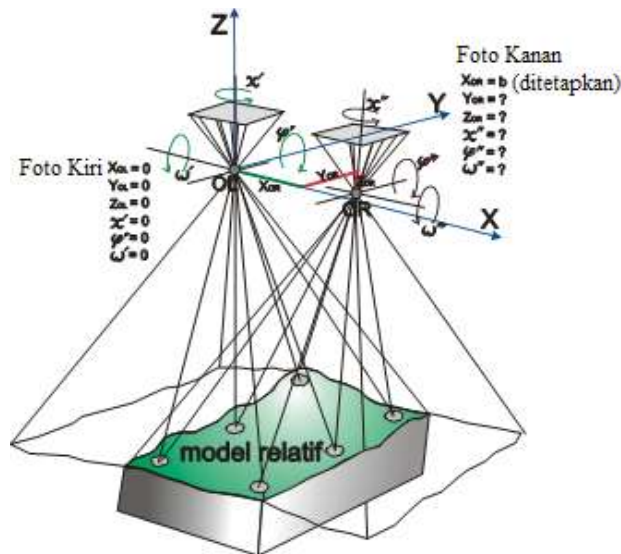
r = koefisien *normalized cross correlation*

g_T, g_S = nilai keabuan *template* dan *search image*

\bar{g}_T, \bar{g}_S = nilai rata-rata dari *template* dan *search image*

R, C = baris dan kolom dari *image patches*

Namun koefisien korelasi tidak ideal apabila kedua foto memiliki geometrik dan radiometrik yang berbeda. Sehingga metode di atas dikembangkan dengan menambahkan perhitungan *Least Squares Matching* (LSM). Dengan demikian geometrik dan radiometrik kedua foto akan saling berhubungan dan transformasi *affine* digunakan sebagai model linear geometriknya. (Elaksher, 2008; Bethmann dan Luhmann, 2010). Pembentukan model stereo antara kedua foto yang bertampalan diilustrasikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Pembentukan model stereo (orientasi relatif, model stereo relatif, model stereo non-georeferensi)

Filtering tie point

Tie points merupakan titik-titik ikat yang mewakili lokasi yang sama pada foto yang bertampalan. Gambar 2.2 merupakan hasil penegakan foto (*align photos*) sehingga titik-titik yang terbentuk merupakan titik-titik yang telah terkoreksi kesalahannya baik itu kesalahan *drift*, *tilt* maupun *crab*. Tujuan dari proses filtering ini adalah untuk mengekstraksi nilai *tie point* yang hanya berada di sekitar daerah *von Gruber*.

Dari proses inilah maka kemudian akan dilakukan peningkatan kerapatan *point cloud* untuk keperluan pembuatan *Digital Surface Model (DSM)*. *Dense Point cloud* sendiri merupakan metode semi-otomatis untuk memodelkan objek yang pada dasarnya memiliki tekstur yang bervariasi pada foto stereo. *Dense point cloud* juga dapat menghasilkan *point clouds* yang sangat rapat dan kecil. Sehingga melalui pembentukan model 3-Dimensi maka objek yang mendekati keadaan sebenarnya dapat direpresentasikan oleh sejumlah *point clouds*. Proses *image matching* pada foto stereo inilah yang menghasilkan *dense point cloud*. *Point Clouds* sendiri merupakan sekumpulan data yang berupa titik-titik dalam suatu koordinat sistem. Dalam sistem koordinat tiga dimensi, titik-titik tersebut diwakili dan dinotasikan oleh koordinat X, Y, Z dengan tujuan untuk merepresentasikan permukaan suatu objek.



Gambar 2. 2 Sample lokasi *von Gruber* untuk ekstraksi *tie point* dan *filtering*

Pada penelitian ini digunakan pembandingan dengan ukuran window yang berbeda untuk mengekstraksi nilai titik-titik ikat (*tie points*) dengan ukuran jendela atau window ekstraksi *tie point* sehingga tidak seluruh *tie point* akan digunakan dalam proses *bundle adjustment*. Ukuran jendela yang ditentukan secara acak baik itu ukuran baris dan kolomnya untuk mengekstraksi daerah-daerah di sekitar lokasi *von Gruber*.

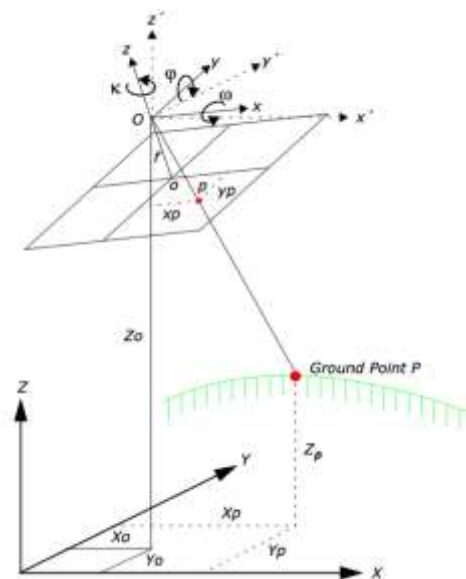
Martince Novianti Bani
ANALISIS KERAPATAN 3D POINT CLOUDS PADA UAV FOTOGRAMETRI
Jurnal *Qua Teknika*, (2022), 12(1): 45-57

Bundle adjustment

Bundle adjustment merupakan proses mentransformasikan sistem koordinat foto ke sistem koordinat tanah melalui tahap orientasi relatif dan absolut. Pada *bundle adjustment* diterapkan persamaan kesegarisan (Persamaan 2 dan 3) yang mana pusat proyeksi, bidang foto dan objek di permukaan bumi berada pada satu garis lurus yang ditunjukkan oleh Gambar 2.3.

Salah satu permasalahan dalam penggunaan *bundle adjustment* adalah waktu komputasi, khususnya untuk blok yang lebih besar. Hal ini juga dipengaruhi oleh data hasil pengukuran yang dilakukan harus tersedia secara *real-time*. Untuk foto yang berurutan, dengan menggunakan jendela dengan jumlah foto yang tetap, maka ukuran sistem persamaan dapat dibatasi sehingga waktu komputasi juga dibatasi (Beder, Steffen, 2008) dan (Wilbers et al., 2019). Sejalan dengan itu (Beder, Steffen, 2008) memperkenalkan pendekatan penyesuaian bundel sekuensial dengan estimasi rekursif untuk mempercepat komputasi.

Selain itu, dibutuhkan juga parameter orientasi luar untuk menentukan sudut dan posisi kamera yang merekam objek di permukaan bumi. Variablenya diketahui sebagai elemen orientasi luar yang meliputi X_0 , Y_0 , dan Z_0 . Pusat perspektif, yang dinotasikan dengan O , dihubungkan oleh Z_0 ke sistem koordinat tanah/peta (X , Y dan Z). Z_0 diketahui juga sebagai ketinggian atau posisi kamera di atas permukaan laut yang direferensikan terhadap bidang datum. Di sisi lain, sudut rotasi yaitu omega (ω), phi (ϕ) dan kappa (κ) juga diperlukan untuk mendefinisikan sudut orientasi. Gambar 2.3 merupakan representasi dari parameter orientasi luar serta hubungan antara sistem koordinat foto (x , y , dan z) dan koordinat tanah/peta (X , Y dan Z).



Gambar 2. 3 Elemen pada parameter orientasi luar (Leica Geosystems, 2006)

Setiap titik pada foto memiliki dua persamaan keseгарisan yang koordinatnya (x_p, y_p) didefinisikan pada foto tersebut dan persamaan 2 dan 3 merupakan representasinya.

$$x_p - x_0 = \frac{-f[r_{11}(X_0 - X_p) + r_{12}(Y_0 - Y_p) + r_{13}(Z_0 - Z_p)]}{r_{31}(X_0 - X_p) + r_{32}(Y_0 - Y_p) + r_{33}(Z_0 - Z_p)} \quad (2)$$

$$y_p - y_0 = \frac{-f[r_{21}(X_0 - X_p) + r_{22}(Y_0 - Y_p) + r_{23}(Z_0 - Z_p)]}{r_{31}(X_0 - X_p) + r_{32}(Y_0 - Y_p) + r_{33}(Z_0 - Z_p)} \quad (3)$$

Dimana,

- x_p, y_p = koordinat objek pada sistem koordinat foto
 X_0, Y_0, Z_0 = koordinat titik pusat eksposur pada sistem koordinat ruang
 X_p, Y_p, Z_p = Koordinat objek pada sistem koordinat ruang
 r_{mn} = koefisien rotasi dari matriks baris dan kolom
 f = Panjang fokus lensa kamera.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tie Point dan Point Cloud

Tie points merupakan titik-titik ikat yang mewakili lokasi yang sama pada foto yang bertampalan. *Tie points* yang melalui proses pencocokan citra antara *Scale Invariant Feature Transform (SIFT) points* yang disebut dengan *key points* terdeteksi melalui dua atau lebih foto yang berbeda. Titik-titik tersebut merupakan penghubung antara foto untuk mendapat posisi relatif objek dalam sistem 3 dimensi. Titik tersebut kemudian difilter menggunakan metode *gradual selection* agar lebih menyatu ke posisi orientasi relatif yang lebih tepat.

Gambar 3.1 merupakan hasil penegakan foto (*align photos*) sehingga titik-titik ikat yang terbentuk merupakan titik-titik yang telah dikoreksi kesalahannya baik itu kesalahan *drift*, *tilt* maupun *crab*. Setelah langka pencocokan citra dilakukan, titik yang berwarna biru adalah titik-titik ikat yang valid yang digunakan untuk mendapatkan orientasi relatif 3D ini, sedangkan titik abu-abu adalah titik ikat yang dinonaktifkan. Dalam hal ini karena ketidaktepatannya.

Martince Novianti Bani
ANALISIS KERAPATAN 3D POINT CLOUDS PADA UAV FOTOGRAMETRI
 Jurnal *Qua Teknika*, (2022), 12(1): 45-57



Gambar 3. 1 Distribusi *tie point* pada foto

Berdasarkan hasil proses data maka diperoleh sejumlah data yang di tampilkan pada Tabel 1. Tabel 1 tersebut merupakan merepresentasikan keseluruhan nilai koordinat pixel dari sepasang foto yang bertampalan. Sedangkan Tabel 2 merupakan representasi dari nilai koordinat foto dan kesalahannya.

Table 1. Koordinat pixel dari sepasang foto yang bertampalan

photo_label	tie_po int_n um	proj_X	proj_Y	photo_label	tie_po int_nu m	proj_X	proj_Y
DSC06007.JPG	0	4266.053711	2245.051514	DSC06008.JPG	0	4295.058594	3412.669922
DSC06007.JPG	1	4320.918457	2281.052002	DSC06008.JPG	1	4350.685059	3177.20459
DSC06007.JPG	2	760.8963623	2310.533203	DSC06008.JPG	2	733.802063	3319.213135
DSC06007.JPG	3	4324.213379	2315.605469	DSC06008.JPG	3	4355.432129	3212.505859
DSC06007.JPG	4	1824.716064	2318.469482	DSC06008.JPG	4	1828.524536	3336.5
DSC06007.JPG	5	2686.67041	2380.066162	DSC06008.JPG	5	2705.391357	3328.022705
DSC06007.JPG	6	6196.338501	2389.215332	DSC06008.JPG	6	5918.585205	3419.383545
DSC06007.JPG	7	2462.659424	2401.039551	DSC06008.JPG	7	2477.682373	3357.444092
DSC06007.JPG	8	4341.63916	2412.135498	DSC06008.JPG	8	4376.902832	3311.077881
DSC06007.JPG	9	2488.876953	2453.807617	DSC06008.JPG	9	2506.478516	3410.925537

Martince Novianti Bani

ANALISIS KERAPATAN 3D POINT CLOUDS PADA UAV FOTOGRAMETRI

Jurnal *Qua Teknika*, (2022), 12(1): 45-57

Table 2. Hasil ekstraksi koordinat foto

tie_poit_num	coord_X	coord_Y	coord_Z	Error
0	2.723012	-0.641552	-4.168738	0.090020
1	2.786648	-0.682276	-4.162204	0.334894
2	-1.437365	-0.767393	-4.568714	0.273037
3	2.790003	-0.721977	-4.160747	0.219032
4	-0.132060	-0.731628	-4.265236	0.648604
5	0.892796	-0.832323	-4.397360	0.302066
6	0.625588	-0.860086	-4.419238	0.616756
7	2.808094	-0.832293	-4.154131	0.117949
8	0.657342	-0.922546	-4.416120	0.387473
9	2.792832	2.881711	-4.153925	0.495047

Tabel 3 merupakan hasil *quality control* yang dilakukan terhadap sepasang foto dimana dapat dilihat bahwa nilai RMSE yang dihasilkan dari sepasang foto yang diproses tersebut mencapai 0.274133 cm. Sedangkan hasil filtering terhadap *tie point* pada sepasang citra tersebut menghasilkan RSME yang lebih kecil dan setelah itu dilakukan proses *bundle adjustment* (lihat Tabel 5) dimana nilai RMSEnya

Table 3. Hasil *quality control* sebelum *filtering* mencapai 0.228039 cm.

```

-----
Label                               Quality
+ DSC06007.JPG                      0.805566
+ DSC06008.JPG                      0.789817
-----

Points                               973 of 984
RMS reprojection error               0.274133
Max reprojection error               0.805349
Mean key point size                  4.7855 pix
Effective overlap                     2
-----
    
```

Ground Control Point (GCP)

Jumlah dan distribusi dari GCP memiliki pengaruh langsung terhadap keakurasian yang dihasilkan. Tabel 4 merepresentasikan nilai koordinat GCP. Dengan nilai koordinat ini maka koordinat

Martince Novianti Bani
ANALISIS KERAPATAN 3D POINT CLOUDS PADA UAV FOTOGRAMETRI
 Jurnal *Qua Teknika*, (2022), 12(1): 45-57

foto akan ditransformasikan ke koordinat tanah. Koordinat GCP yang ditampilkan hanya sebagian saja. Jumlah keseluruhan GCP sebanyak 45 GCP.

Table 4. Koordinat Ground Control Point (GCP)

Nama Titik	Easting	Northing	Elevation
1	685734,551	9301971,592	61,32863817
2	684828,5316	9302365,111	61,06148252
3	683925,2916	9302821,275	65,01268812
4	682884,0979	9302847,221	56,55764448
5	681972,2737	9302634,663	71,41019992
6	681107,1526	9302008,057	62,23306906
7	680253,3316	9301447,158	70,44869947
8	679173,1141	9301198,473	67,39631652
9	678052,0442	9301076,824	70,90373816
10	676593,954	9301098,197	62,62300000

Tabel 5 merupakan representasi dari *quality control* proses *bundle adjustment* tanpa dilakukan *filtering*. Namun pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai RMSE mencapai 0.228039 cm. Hal ini juga masih tergolong sangat tinggi dikarenakan foto yang di proses hanya sepasang dan GCP tidak berada tepat pada kedua foto tersebut. Namun jika semua foto di proses dan proses *filtering* diterapkan maka

Table 5. Hasil *quality control bundle adjustment*

```

-----
Label                               Quality
+ DSC06007.JPG                      0.805566
+ DSC06008.JPG                      0.789817
-----

Points                               971 of 984
RMS reprojection error              0.228039
Max reprojection error              0.681354
Mean key point size                 4.8204 pix
Effective overlap                    2
-----
    
```

masih diasumsikan bahwa nilai RMSE akan semakin kecil.

Kombinasi window dengan GCP

Martince Novianti Bani
ANALISIS KERAPATAN 3D POINT CLOUDS PADA UAV FOTOGRAMETRI
 Jurnal *Qua Teknika*, (2022), 12(1): 45-57

Untuk proses selanjutnya, filtrasi dilakukan terhadap foto yang bertampalan dengan menerapkan kombinasi window dengan GCP untuk mengetahui besar akurasi pada sejumlah data *point cloud* jika proses *point cloud* dilakukan pada daerah-daerah atau lokasi *von Gruber* saja dengan window sebesar 601



x 601 pixel. Proses ini ditunjukkan oleh Gambar 3.2 berikut ini.

Gambar 3. 2 Ekstraksi *tie points* pada lokasi *von Gruber*

Setelah dilakukan *quality control* terhadap data tersebut maka dilakukan rekonstruksi kembali terhadap objek di foto dengan menggunakan nilai koordinat *idenpendet check point* seperti dapat dilihat pada Tabel 6, nilai RMSE_r untuk foto yang bertampalan dengan kombinasi *window* atau jendela dengan dan ICP yaitu 0,153292686 meter, sedangkan RMSE_z berada pada angka 0,121479229 meter.

Table 6. Rekonstruksi objek di foto terhadap objek di lapangan berdasarkan pada *Independent Check Point* (ICP)

Label	GPS (m)			Foto (m)			ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)	$\Delta X^2 + \Delta Y^2$ (m)
	X	Y	Z	X	Y	Z				
ICP1	685399,9777	9301989,086	61,29867733	685399,791	9301989,190	61,2981173	-0,187	0,104	-0,001	0,046
ICP2	685621,3084	9302034,833	61,26785463	685621,458	9302034,873	61,2988546	0,150	0,040	0,031	0,024
ICP3	685067,0297	9301887,318	61,18002778	685067,115	9301887,368	61,1332774	0,085	0,050	-0,047	0,010
ICP4	685290,5161	9302338,906	61,47819732	685290,646	9302338,966	61,2381973	0,130	0,060	-0,240	0,021
ICP5	684957,7014	9302279,171	61,20033209	684957,724	9302279,271	61,2123327	0,023	0,100	0,012	0,011
ICP6	6846261,538	930235,2107	61,24810181	6846261,51	930235,016	61,2581013	-0,027	-0,195	0,010	0,039
ICP7	684737,8979	9302710,074	62,14783999	684737,698	9302710,137	62,22784	-0,200	0,063	0,080	0,044

Martince Novianti Bani

ANALISIS KERAPATAN 3D POINT CLOUDS PADA UAV FOTOGRAMETRI

Jurnal *Qua Teknika*, (2022), 12(1): 45-57

ICP8	684406,5173	93028360,57	64,2312009	684406,717	93028360,589	64,2342332	0,200	0,016	0,003	0,040
ICP9	683963,058	9302494,654	64,13799921	683963,359	9302494,700	64,1388995	0,301	0,046	0,001	0,092
ICP10	684516,6618	9302694,171	62,11534211	684516,672	9302694,271	62,3814242	0,010	0,100	0,266	0,010
Sum							0,485	0,384	0,116	0,336
Rata-rata							0,048	0,038	0,012	0,034
RMSE							0,153292686		0,121479229	
CE90/LE90							0,296809387		0,019090067	

Nilai CE90 dan LE90 dapat diperoleh berdasarkan standar US-NMAS sehingga diperoleh nilai CE90/LE90 sebesar 0,296809387 meter dan 0,019090067 meter. Sedangkan ketelitian horizontal dan vertikalnya dilihat dari ketelitian geometri berdasarkan ketelitian geometri peta RBI.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas maka dapat disimpulkan bahwa dengan perbandingan konfigurasi GCP dan filter tie point pada window yang berbeda maka semakin banyak jumlah GCP dikombinasikan dengan window ekstraksi point cloud maka ketelitian foto yang dihasilkan masuk pada ketelitian geometri kelas I dengan skala 1:2500 tanpa harus melalui proses ekstraksi semua tie point pada keseluruhan foto yang bertampalan. Kemudian penelitian ini dapat menjadi salah satu solusi yang ditawarkan untuk menganalisis kerapatan point cloud berdasarkan hasil filtering sejumlah tie point dan model yang dihasilkan oleh point cloud. Selain itu, dengan diterapkannya algoritma yang dibuat berdasarkan model solusi ini, maka diharapkan kecepatan komputasi semakin meningkat, ketelitian yang dihasilkan pun semakin baik, sehingga peta yang dihasilkan melalui pemetaan dengan UAV fotogramteri ini lebih efektif dan efisien dari segi waktu dan biaya. Selain itu disarankan agar, jumlah konfigurasi GCP dibuat dalam beberapa skenario yang berbeda serta jumlah window ekstraksi dibuat lebih bervariasi untuk lebih jauh mengukur keakurasian dari kerapatan point cloud. Selain itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mencari tahu lebih lanjut terkait dengan penerapan algoritma bundle adjustment untuk berbagai jenis window serta rekonstruksi model 3 dimensinya.

ACKNOWLEDGEMENTS

Penelitian ini disuport oleh PT. Sarana Geospasial Terpadu, (SGT Geomedia) sebagai mitra independent penyedia data.

Daftar Referensi

- (1) Beder, C., Steffen, R., 2008. Incremental estimation without specifying a-priori covariance matrices for the novel parameters. 2008 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, IEEE.
- (2) Bethmann, F., and Luhmann, T., 2010. Least Squares Matching with Advanced Geometric Transformation Models. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science. Vol. XXXVIII. Part 5. Newcastle upon Tyne, UK. 2010.
- (3) Campbell, N.A., and Wu, X., 2008. Gradient Cross Correlation for Sub-Pixel Matching. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing 2008.
- (4) Elaksher, A., 2008. A Multi-Photo Least Squares Matching Algorithm for Urban Area DEM Refinement Using Breaklines. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science. Vol XXXVII. Part B3a. Beijing 2008.
- (5) Furukawa, Y. & Ponce, J., 2009. Accurate, Dense, and Robust Multi-View Stereopsis. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. p. IEEE Computer Society Press.
- (6) Leica Geosystems, 2006. Leica Photogrammetry Suite Project Manager.

Martince Novianti Bani
ANALISIS KERAPATAN 3D POINT CLOUDS PADA UAV FOTOGRAMETRI
Jurnal *Qua Teknika*, (2022), 12(1): 45-57

- (7) Mitchell, H., and Pilgrim, L.J., 1987. Selection of an Image Matching Algorithm. Department of Civil Engineering and Surveying. University of Newcastle.
- (8) Schenk, T., 1999. Digital Photogrammetry, TerraScience, Ohio, USA.
- (9) Schneider, D., 2014. Open season on drones? *Spectrum*, IEEE 51(1), pp. 32–33.
- (10) Wilbers, D., Merfels, C., Stachniss, C., 2019. A comparison of particle filter and graph-based optimization for localization with landmarks in automated vehicles. 2019 Third IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC), IEEE.
- (11) Wolf, P.R., and Dewitt, B.A., 2000. Element of Photogrammetry with Applications in GIS 3rd. McGraw-Hill.
- (12) Yang, B & Dong, Z., 2013. A shape-based segmentation method for mobile laser scanning point cloud. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 81, pp. 19–30.