



## ANALISIS PENGARUH *STRIP ADJUSTMENT* TERHADAP KETELITIAN DATA UAV LIDAR

Der Derian A. Bainus<sup>1</sup>, Deni Suwardhi<sup>1</sup>, Budhy Soeksmantono<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kelompok Keahlian Penginderaan Jauh dan Sains Informasi Geografis, Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesha no. 10, Kota Bandung, Jawa Barat 40132, e-mail: derderianab@gmail.com

### ABSTRAK

Kegiatan pemetaan daerah dalam bentuk tiga-dimensi (3D) sering kali dilakukan dalam kegiatan perencanaan, pembangunan dan pengawasan infrastruktur di muka bumi. Kegiatan tersebut dapat dilakukan menggunakan berbagai macam metode juga teknologi guna menghasilkan peta 3D dengan akurasi yang baik, salah satunya adalah dengan Teknologi LiDAR (Light Detection and Ranging) dengan wahana UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Teknologi ini dapat menggambarkan permukaan bumi beserta objek-objek yang ada di atasnya dalam bentuk kumpulan titik yang mengambang (*point cloud*) yang berorientasi dalam sistem koordinat 3D. Untuk mendapatkan ketelitian yang baik terkait posisi dari titik-titik tersebut dibutuhkan pemrosesan lebih lanjut yang berkaitan dengan jalur terbang dari UAV, sikap terbang UAV, dan posisi UAV saat melakukan akuisisi data. Penelitian ini bertujuan untuk memahami proses peningkatan akurasi data *point cloud* dari wilayah Kampus ITB Jatitangor yang diakuisisi menggunakan teknologi LiDAR dengan wahana UAV terutama dalam proses *strip adjustment*. Hasil yang didapatkan merupakan data *point cloud* dan juga DTM (Digital Terrain Model) yang membentuk kampus ITB Jatitangor, dimana hasil dari data *point cloud* yang telah dilakukan *strip adjustment* ini memiliki bentuk objek-objek pada permukaan yang terekam lebih rapih dan sejajar yang berdampak pada peningkatan ketelitian dari data *point cloud* tersebut.

**Kata kunci :** UAV-LiDAR, *strip adjustment*, DTM (Digital Terrain Model), *point cloud*, akurasi

### ABSTRACT

*Three-dimensional (3D) mapping are often use for multi purposes such as planning, constructing, and maintenance infrastructure at all around the world. That activities can be done by many methods with different technology to maintain the great quality of the 3D maps. One example of technology that used is LiDAR or Light Detection and Ranging that integrated with unmanned aerial vehicle or can be called UAV. This technology can represent earth surface with objects above it in shape of point cloud that oriented in 3D coordinate. Theres need furthermore processing of this point cloud to produce greater accuracy that related to flight lines, flight attitude, and flight position of the UAV when it collecting the data. This research is done due to understanding the process of point cloud accuracy enhancement in the project area that acquired by LiDAR in UAV, especially in strip adjustment process. The result of the processed point cloud will be input data for generating DTM (Digital Terrain Model) where the results of the point cloud data that have been done by strip adjustment have the shape of the objects on the recorded surface which are more neat and parallel which has an impact on increasing the accuracy of the point cloud data.*

**Keywords :** UAV-LiDAR, *strip adjustment*, DTM (Digital Terrain Model), *point cloud*, accuracy.

### 1. PENDAHULUAN

Sebuah peta dituntut untuk dapat memberikan suatu informasi dengan tepat atau sesuai dengan apa yang dibutuhkan oleh pengguna peta. Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi, kebutuhan akan informasi pun berkembang. Hal tersebut menjadi dasar akan berkembangnya suatu peta dalam rangka memenuhi kebutuhan dalam menyampaikan informasi tersebut, dimana peta dengan skala kecil dan juga peta 3D merupakan suatu bentuk dari berkembangnya peta. Dimana perkembangan peta tersebut berdampak kepada berkembang teknologi dalam melakukan akuisi data

pula, yang pada akhirnya menghasilkan teknologi LiDAR dengan wahana UAV sebagai salah satu teknologi yang unggul dalam pemetaan.

LiDAR bekerja dengan menembakkan gelombang ke objek target pada permukaan bumi. Gelombang tersebut memantul balik dan diterima oleh sensor sehingga didapatkanlah waktu tempuh dari gelombang tersebut. Dengan diketahuinya kecepatan dari gelombang yang ditembakkan dan juga waktu tempuh dari gelombang tersebut maka jarak dapat ditentukan. Dengan terintegrasikannya sistem LiDAR dengan GPS (*Global Positioning System*) dalam penentuan posisi *geoconservation*, *geodiversity* dan juga IMU (*Inertial*

*measurement Unit*) yang terpasangkan dalam UAV maka koordinat dari titik tembakan laser pada objek target dapat ditentukan (Yunfei *et al.*, 2008). Sistem LiDAR tidak luput dari kesalahan acak dan sistematis (Kornus dan Ruiz, 2003). Salah satunya adalah kesalahan sistematis yang diakibatkan karena keragaman sikap terbang pesawat di setiap jalur terbangnya. Analisis dan juga pemodelan kesalahan ini menjadi isu utama yang diteliti semenjak sistem ini mulai dikenal dan juga digunakan oleh banyak pihak dalam menghasilkan DTM (*Digital Terrain Model*) dengan kualitas yang baik. Ada pula beberapa pendekatan untuk meminimalisir kesalahan sistematis pada setiap jalur terbang pesawat. Pendekatan-pendekatan ini dirumuskan menjadi suatu metode yang tertera dalam berbagai perangkat lunak pengolahan data *point cloud* yang diakuisisi dengan wahana UAV dengan melakukan serangkaian proses pengolahan.

Data *point cloud* yang diperoleh dari hasil akuisisi menggunakan wahana UAV masih memiliki berbagai kesalahan yang harus koreksi agar data tersebut dapat terbilang memiliki kualitas yang baik (Kornus dan Ruiz, 2003). Terkait hal tersebut dibutuhkan pengolahan lebih lanjut pada setiap jalur terbang yang saling bertampalan guna meminimalisir kesalahan sistematis dengan melalui berbagai tahapan metode, dimana tahapan lanjutan yang dimaksud merupakan proses *strip adjustment* dari data *point cloud* yang diperoleh. Penelitian kali ini, ditujukan untuk meneliti seberapa besar dampak dari *strip adjustment* terhadap akurasi data *point cloud* yang diakuisisi oleh UAV. Sebagai pembandingan, akan dibuat DTM dari data *point cloud* hasil pengolahan dan dibandingkan dengan DTM dari ortofoto. Sebagai uji akurasi, DTM yang telah didapat akan ditumpang susun terhadap titik GCP untuk dianalisis besar perbedaannya.

## 2. METODE PENELITIAN

Pengolahan data dilakukan secara sistematis untuk menghasilkan data hasil untuk menjawab tujuan dari penelitian ini. Untuk mendukung hal tersebut, digunakan perangkat lunak yang dapat membaca data *point cloud* dalam format (.las) dan dapat melakukan manipulasi data *point cloud*, selain itu dibutuhkan juga perangkat lunak untuk dapat melakukan ekstraksi DTM dari data *point cloud* dan dibutuhkan pula perangkat lunak yang dapat melakukan tumpang susun data untuk dapat mengekstrak nilai ketinggian DTM pada titik GCP dengan tujuan untuk melakukan uji akurasi. Dilakukan manipulasi data *point cloud* dengan tujuan memodelkan koreksi dari kesalahan sistematis yang terjadi pada saat pengambilan data berdasarkan setiap strip terbang. Data tersebut kemudian dibandingkan dengan data *point cloud* yang sama sekali belum diterapkan nilai koreksi sehingga dapat diketahui bagaimana dampak dari proses penerapan nilai koreksi tersebut atau yang disebut dalam penelitian ini adalah

*strip adjustment*. Secara garis besar, terdapat beberapa proses utama yang dilakukan dalam penelitian ini, antara lain:

1. *Strip adjustment*
2. Pemodelan Digital Terrain Model (DTM)
3. Uji akurasi

### 2.1 Strip adjustment

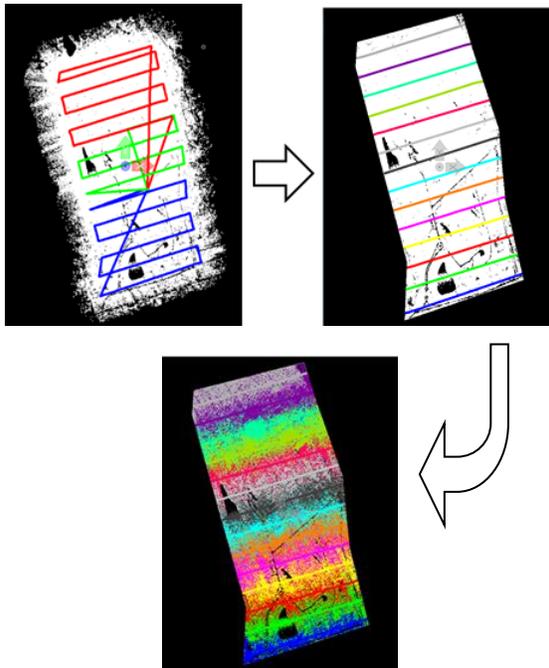
Terdapat banyak pendekatan untuk mereduksi *error* pada setiap jalur terbang (Vosselman dan Mass, 2001) dimana sebagiannya sudah terimplementasikan dalam perangkat lunak komersil (Burman, 2002) dan tersusun secara sistematis menjadi suatu metode diantaranya adalah *find match* dan *tie lines*

Proses *strip adjustment* ini terdiri dari beberapa sub-proses yang tersusun dengan sistematis dimana setiap sub-proses tersebut berdampak terhadap hasil. Sub-proses tersebut antara lain adalah; pengolahan jalur terbang, *filtering*, klasifikasi permukaan tanah, perhitungan nilai koreksi kemudian menerapkannya pada data *point cloud*.

Hasil dari pengolahan *strip adjustment* ini merupakan data *point cloud* yang telah terminimalisir dari kesalahan acak dan juga kesalahan sistematis. Konsepnya adalah dengan mendekatkan jarak antar fitur atau bidang pada dua jalur terbang yang saling bertumpang susun (Soininen, 2015). Besar perubahan jarak tersebut dapat dihasilkan dari perhitungan nilai koreksi setiap jalur terbang yang dimana besar nilai koreksi dipengaruhi oleh proses yang dilakukan sebelumnya yaitu pengolahan jalur terbang, proses *filtering*, proses klasifikasi titik *point cloud* yang akan dimodelkan untuk dilakukan observasi pada setiap bidangnya dan juga penentuan parameter dari perhitungan nilai koreksi dalam proses *strip adjustment* nya itu sendiri.

#### 2.1.1 Pengolahan Jalur Terbang

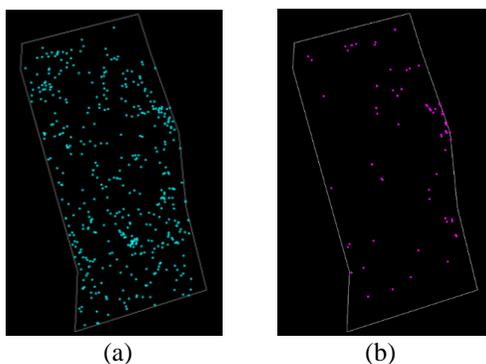
Pada tahap ini dilakukan pemotongan blok terbang, penghapusan jalur terbang yang berpotongan dengan jalur terbang lainnya yang dihasilkan dari pemotongan blok terbang dan klasifikasi data *point cloud* ke dalam setiap jalur terbang yang telah di olah. *Area of Interest* (AOI) yang meliputi seluruh area penelitian digunakan sebagai acuan dalam pemotongan blok terbang. Pemotongan blok terbang tersebut menghasilkan beberapa buah jalur terbang yang kemudian dilakukan penghapusan jalur terbang dengan kualitas yang buruk, antara lain adalah; jalur terbang yang saling berpotongan, jalur terbang yang memiliki tinggi yang berbeda dengan jalur terbang lainnya, seperti terlihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Pembagian jalur terbang, pemilihan jalur terbang, dan pengklasifikasian *point cloud* berdasarkan jalur terbang

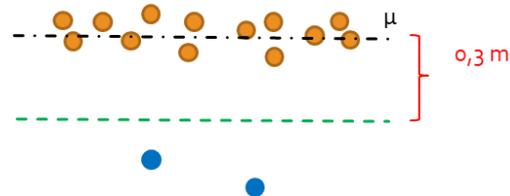
### 2.1.2 Filtering

Proses ini dilakukan guna memisahkan titik-titik *point cloud* yang tidak merepresentasikan bentuk objek aslinya atau disebut juga sebagai *noise*. Pada dasarnya, proses *filtering* ini dalam memisahkan titik-titik *noise* dalam data *point cloud* adalah dengan melakukan klasifikasi. Proses ini terbagi menjadi dua bagian yaitu klasifikasi titik-titik yang tidak merepresentasikan objek di atas permukaan tanah (*Isolated Points*) dan klasifikasi titik-titik yang tidak merepresentasikan objek di bawah permukaan tanah (*Low Points*), seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.



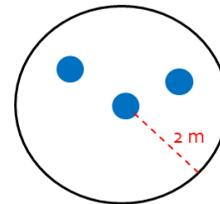
**Gambar 2.** (a) *Noise* di atas permukaan tanah, (b) *Noise* di bawah permukaan tanah

Proses *filtering low points* dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan perhitungan rata-rata kumpulan titik terbanyak dan terendah (diasumsikan sebagai permukaan tanah) kemudian dilakukan perhitungan linear lebih rendah dari nilai rata-rata yang telah didapat sejauh titik *low point* yang akan diidentifikasi sebagai *noise*, seperti diilustrasikan oleh Gambar 3.



**Gambar 3.** Ilustrasi proses *filtering low point*

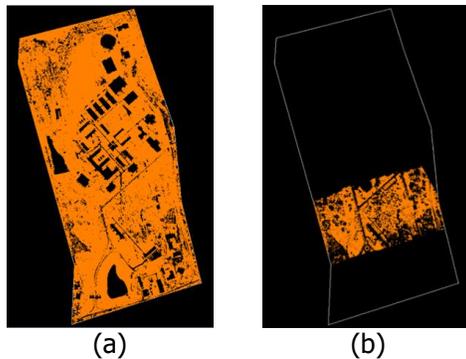
Proses *filtering isolated point* dilakukan dengan melakukan observasi seluruh titik *point cloud* dan membuat luasan area dari titik-titik tersebut berdasarkan radius jarak yang telah ditentukan sebagai parameter pendefinisian titik *noise*. Titik *point cloud* yang terletak di antara titik lainnya dengan jumlah kurang dari nilai parameter sejauh radius jarak yang telah ditentukan akan di kelaskan sebagai kelas *isolated point*, seperti diilustrasikan oleh Gambar 4.



**Gambar 4.** Ilustrasi proses *filtering isolated point*

### 2.1.3 Klasifikasi Permukaan Tanah

Proses klasifikasi dilakukan secara otomatis, berbasiskan jalur terbang, sehingga setiap titik teregistrasi pada jalur terbangnya masing-masing, seperti terlihat pada Gambar 5. Klasifikasi permukaan tanah dilakukan dengan metode *slope-based* dimana metode ini bekerja dengan basis perhitungan TIN (*Triangulation Irregular Network*) dengan memperhatikan sudut kemiringan lereng terbesar dan juga titik terendah pada suatu luasan wilayah yang besarnya telah ditentukan (Vosselman, 2000).



**Gambar 5.** Hasil klasifikasi permukaan tanah (a) seluruh jalur terbang, (b) salah satu jalur terbang

### 2.1.4 Perhitungan Nilai Koreksi

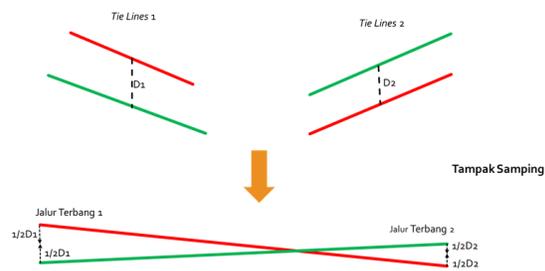
Digunakan dua metode dalam melakukan perhitungan nilai koreksi yaitu metode *find match* dan metode *tie lines* yang telah disediakan perangkat lunak Terrasolid (Soininen, 2015). Hasil dari perhitungan nilai koreksi ini adalah besar perpindahan antar bidang atau fitur yang diobservasi dalam nilai *heading* (perputaran pada sumbu z), *roll* (perputaran pada sumbu x) dan *yaw* (perputaran pada sumbu y).

Metode *find match* menghitung nilai koreksi dengan membandingkan permukaan yang serupa antara dua jalur terbang yang saling bertumpang susun, seperti diilustrasikan oleh Gambar 6. Metode ini melakukan *strip adjustment* dengan terlebih dahulu membentuk bidang permukaan dari salah satu atau beberapa kelas *point cloud* yang terekam dalam data, kemudian melakukan pencocokan bidang pada area yang saling bertumpang susun.



**Gambar 6.** Ilustrasi konsep dari metode *find match* (Soininen, 2015)

Metode *tie lines* melakukan *strip adjustment* dengan membandingkan fitur-fitur pada jalur terbang yang saling bertumpang susun, seperti diilustrasikan oleh Gambar 7. Setelah perbandingan dilakukan, didapatkan *tie lines* pada fitur-fitur yang diobservasi.



**Gambar 7.** Ilustrasi konsep dari metode *tie lines*

## 2.2 Pemodelan Digital Terrain Model (DTM)

Pembentukan DTM dilakukan dengan basis perhitungan metode TIN dari titik-titik *point cloud* yang terklasifikasi kedalam kelas tanah. DTM di *ekspor* dalam format *32 bit float* dalam satuan panjang meter agar ketinggian yang dihasilkan tertampilkan dalam meter dengan tiga buah angka di belakang koma dengan ukuran piksel 0,04 m. Dihilangkan tiga model DTM, yaitu DTM yang terbentuk dari data *point cloud* sebelum dilakukannya *strip adjustment*, DTM yang terbentuk dari *point cloud* hasil *strip adjustment* menggunakan metode *tie lines* dan *find match*.

## 2.3 Uji Akurasi

Proses ini dilakukan untuk melihat bagaimana kualitas hasil pengolahan data yang telah dilakukan sebelumnya dan melihat perbedaan dampak dari hasil *strip adjustment* dengan dua metode telah dilakukan. Proses uji akurasi dilakukan dua kali, yaitu dengan melakukan tumpang susun DTM yang telah termodelkan dengan DTM acuan dan tumpang susun DTM dengan *Ground Control Point* (GCP).

### 2.3.1 Tumpang susun DTM Hasil Pengolahan dengan DTM Acuan

Dilakukannya tumpang susun dari ketiga DTM hasil pengolahan dengan DTM acuan yang merupakan DTM hasil pengolahan orthofoto sebagai pembandingan kemiripan dari tekstur DTM yang telah diperoleh secara statistik.

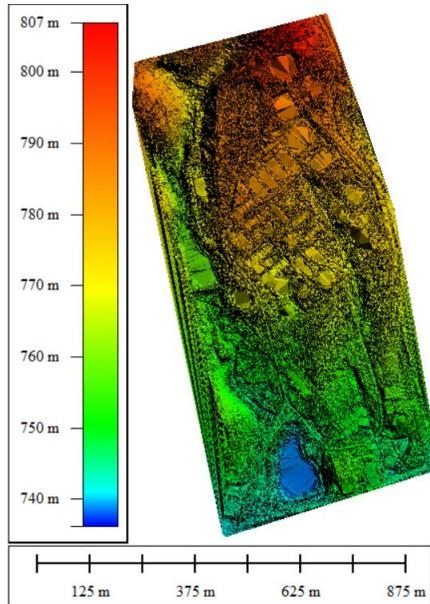
### 2.3.2 Tumpang susun DTM Hasil Pengolahan dengan GCP

Dilakukannya tumpang susun dari ketiga DTM hasil pengolahan dengan GCP sebagai pembandingan tingkat akurasi setiap DTM terhadap permukaan tanah.

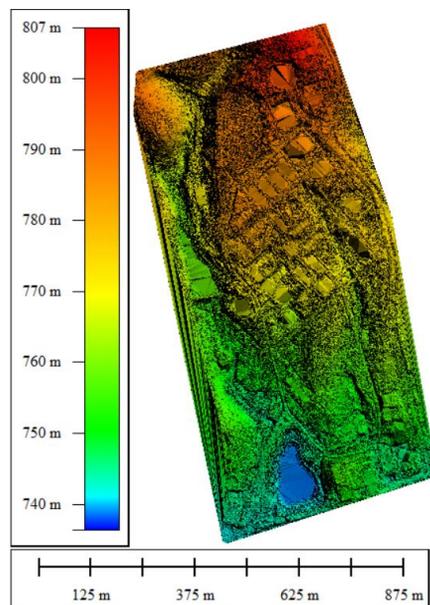
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil pembentukan DTM

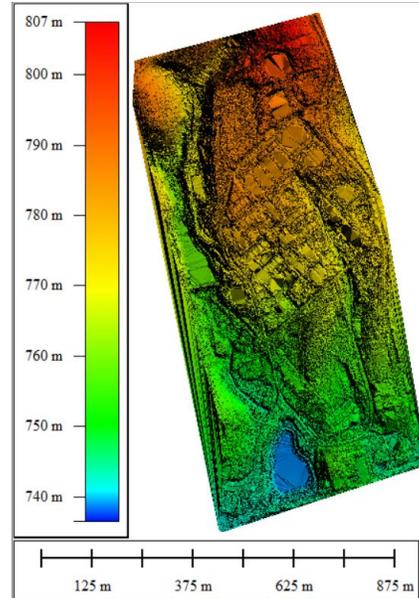
Hasil utama dari pengolahan yang dilakukan pada penelitian ini merupakan tiga buah DTM, seperti ditunjukkan oleh Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10. DTM tersebut selanjutnya akan dibandingkan antar lainnya untuk mengetahui dampak dari proses *strip adjustment* yang dilakukan sebagai bagian dari pengolahan data *point cloud* UAV LiDAR.



**Gambar 8.** DTM hasil pengolahan *point cloud* dengan metode *strip adjustment*



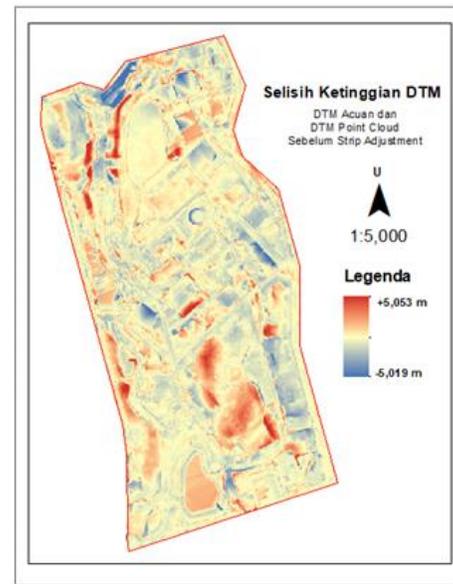
**Gambar 9.** DTM hasil pengolahan *point cloud* dengan metode *tie lines*



**Gambar 10.** DTM hasil pengolahan *point cloud* dengan metode *find match*

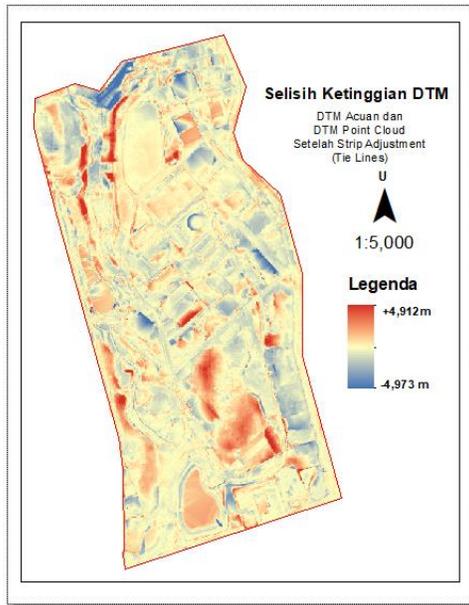
#### 3.2 Hasil tumpang susun DTM Hasil Pengolahan dengan DTM Acuan

Hasil dari pembentukan DTM ditumpang susun dengan DTM acuan untuk dilihat perbedaannya secara statistic dari tiap pikselnya. Selisih ketinggian DTM sebelum *strip adjustment* terhadap DTM Acuan dapat dilihat pada Gambar 11.

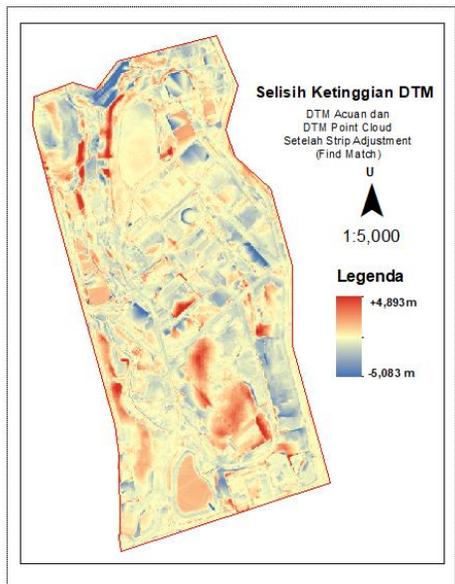


**Gambar 11.** Hasil tumpang susun DTM acuan dengan DTM hasil pengolahan *point cloud* sebelum *strip adjustment*

Selisih ketinggian DTM setelah *strip adjustment* dengan metode *Tie Lines* terhadap DTM Acuan dapat dilihat pada Gambar 12. Selisih ketinggian DTM setelah *strip adjustment* dengan metode *Find Match* terhadap DTM Acuan dapat dilihat pada Gambar 13.



**Gambar 12.** Hasil tumpang-susun DTM acuan dengan DTM hasil pengolahan *point cloud* setelah *strip adjustment* dengan metode *tie lines*



**Gambar 13.** Hasil tumpang-susun DTM acuan dengan DTM hasil pengolahan *point cloud* setelah *strip adjustment* dengan metode *find match*

Secara visual, distribusi perbedaan ketinggian pada DTM tidak ada yang berbeda secara signifikan. Pola dari selisih perbedaan ketinggian dapat terlihat hampir seragam dari yang nilainya lebih tinggi (merah) maupun lebih rendah (biru) dari ketiga DTM hasil pengolahan. Jika dilihat dari legenda tinggi, DTM hasil pemodelan data *point cloud* dengan *strip adjustment* metode *tie lines* memiliki nilai selisih lebih tinggi dan lebih rendah paling kecil (9,885 m) dan DTM hasil pemodelan data *point cloud* tanpa *strip adjustment* memiliki nilai selisih yang paling besar (10,072 m). Besar dari selisih nilai lebih tinggi dan lebih rendah tersebut menunjukkan tingkat presisi dari data *point cloud* yang telah terolah, dimana semakin kecil perbedaan ketinggian yang didapat menunjukkan bahwa semakin presisinya data *point cloud* UAV LiDAR karena nilainya semakin mendekati nilai tengahnya.

Dengan seperti itu, terbukti bahwa dengan dilakukannya *strip adjustment* pada data *point cloud* hasil akuisisi UAV LiDAR dapat meningkatkan tingkat presisi dari data. Hal tersebut didukung dengan hasil perhitungan statistic pada setiap DSM yang ditumpang susun, seperti ditunjukkan oleh Tabel 1.

**Tabel 1.** Statistik nilai selisih hasil tumpang-susun DTM acuan dengan DTM hasil pengolahan *point cloud*

| Keterangan  | Sebelum <i>strip adjustment</i> | Metode <i>tie lines</i> | Metode <i>find match</i> |
|-------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Min         | -5.019                          | -4.973                  | -5.083                   |
| Max         | 5.053                           | 4.912                   | 4.893                    |
| Rata-rata   | 0.518                           | 0.473                   | 0.402                    |
| Std deviasi | 0.697                           | 0.698                   | 0.672                    |
| RMSE Z      | 0.868                           | 0.843                   | 0.8                      |

Nilai RMSE Z terhitung secara manual dari setiap piksel DTM hasil tumpang-susun. Semakin kecil nilai RMSE Z menandakan bahwa semakin kecil pula selisih ketinggian pada setiap piksel yang berbanding lurus terhadap tingkat presisi dari data.

### 3.2 Hasil tumpang-susun DTM Hasil Pengolahan dengan GCP (*Ground Control Point*)

Ketiga DTM hasil pengolahan ditumpang-susun dengan GCP untuk dilihat bagaimana dampak dari hasil proses *strip adjustment* terhadap akurasi. Sebagaimana akurasi dari pengolahan data topografi yang pada umumnya diuji terhadap GCP. Contoh target pada GCP yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 14. Adapun ilustrasi kenampakan target pada GCP yang terdeteksi pada data *point cloud* dapat dilihat pada Gambar 15.

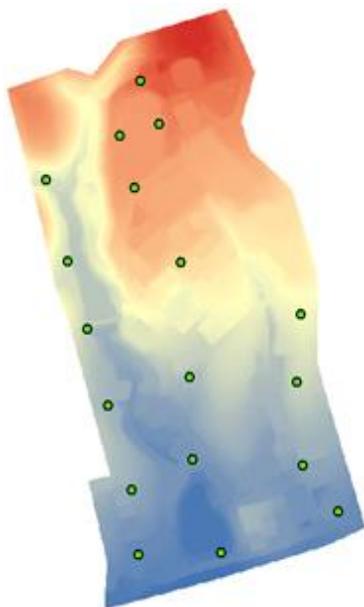


**Gambar 14.** Contoh target pada GCP



**Gambar 15.** Ilustrasi uji akurasi horizontal

GCP terdistribusi secara merata pada wilayah penelitian dengan total 18 GCP yang memiliki koordinat x, y, dan z, seperti terlihat pada Gambar 16.



**Gambar 16.** Distribusi GCP pada area penelitian

Proses ekspor DTM dengan ukuran piksel 0.04 m pada setiap hasil pembentukan DTM dilakukan dengan memperhitungkan densitas titik *point cloud* yang sebagaimana direncanakan agar setiap piksel pada setiap DTM dapat merepresentasikan hanya satu titik *point cloud* saja. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan nilai yang teliti ketika proses uji akurasi dilakukan

Dari hasil proses uji akurasi ini didapatkan keragaman nilai selisih 3-D koordinat GCP dengan GCP yang terekam pada data *point cloud* yang saling bertumpangsusun. Keragaman nilai RMSE 3-D tersebut menunjukkan bahwa telah terjadinya perubahan akurasi pada data *point cloud* yang telah dilakukan *strip adjustment* terhadap GCP, seperti terlihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Uji Akurasi Tumpangsusun GCP dengan Ketiga DTM Hasil

| Nama Titik  | Sebelum Strip Adjustment | Setelah Strip Adjustment |            |
|-------------|--------------------------|--------------------------|------------|
|             |                          | Tie Lines                | Find Match |
| JT-003      | 0.513                    | 0.510                    | 0.353      |
| JT-004      | 0.403                    | 0.336                    | 0.277      |
| JT-005      | 0.258                    | 0.553                    | 0.353      |
| JT-006      | 0.319                    | 0.163                    | 0.203      |
| JT-007      | 0.385                    | 0.347                    | 0.735      |
| JT-008      | 0.956                    | 0.823                    | 0.908      |
| JT-009      | 0.647                    | 0.487                    | 0.914      |
| JT-010      | 0.745                    | 0.843                    | 0.863      |
| JT-011      | 0.576                    | 0.517                    | 0.274      |
| JT-012      | 0.310                    | 0.367                    | 0.212      |
| JT-013      | 0.255                    | 0.579                    | 0.239      |
| JT-014      | 0.259                    | 0.437                    | 0.083      |
| JT-015      | 0.933                    | 0.774                    | 0.946      |
| JT-016      | 0.709                    | 0.558                    | 0.301      |
| JT-017      | 0.586                    | 0.649                    | 0.136      |
| JT-018      | 0.507                    | 0.418                    | 0.274      |
| JT-019      | 0.376                    | 0.449                    | 0.217      |
| JT-020      | 0.538                    | 0.387                    | 0.402      |
| Rata-Rata   | 0.515                    | 0.511                    | 0.427      |
| Std Deviasi | 0.219                    | 0.178                    | 0.297      |
| RMSE 3D     | 0.557                    | 0.539                    | 0.515      |

Tingkat akurasi dapat dilihat pada nilai RMSE 3D yang telah ditampilkan pada Tabel 3 dimana semakin kecil nilainya maka semakin dekat GCP yang terekam pada *point cloud* ke koordinat GCP aslinya, yang menandakan bahwa semakin tinggi juga tingkat akurasinya terhadap GCP. Dari Tabel 3, dapat dilihat bahwa data *point cloud* yang telah diolah dengan *strip adjustment* metode *find match* memiliki tingkat akurasi yang paling tinggi, disusul dengan data *point cloud* yang diolah dengan *strip adjustment* metode *tie lines* dan terakhir data *point cloud* yang tidak melalui proses *strip adjustment*. Didapatkan bahwa dengan melalui proses *strip adjustment* maka tingkat akurasi dari data *point cloud* dapat meningkat pada ukuran centimeter.

**Tabel 2.** Nilai RMSE 3-D dari selisih data GCP dengan GCP pada *point cloud*

| Keterangan  | Sebelum <i>strip adjustment</i> | Metode <i>tie lines</i> | Metode <i>find match</i> |
|-------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Rata-rata   | 0.515                           | 0.511                   | 0.427                    |
| Std deviasi | 0.219                           | 0.178                   | 0.297                    |
| RMSE 3D     | 0.557                           | 0.539                   | 0.515                    |

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dalam penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut;

1. *Strip adjustment* yang dilakukan pada data *point cloud* yang diakuisisi dengan wahana UAV menghasilkan data *point cloud* baru yang dapat merepresentasikan objek-objek yang terekam dalam data dengan lebih rapih dan teliti.
2. *Strip adjustment* mempengaruhi bentuk DTM yang dihasilkan dari pengolahan *point cloud* terutama pada teksturnya secara visual. DTM yang dihasilkan dari pengolahan *point cloud* yang telah dilakukan *strip adjustment* memiliki permukaan yang lebih halus.
3. *Strip adjustment* mempengaruhi ketelitian data *point cloud*. Dengan dilakukannya proses tersebut, akurasi data *point cloud* dapat meningkat terutama pada arah vertikal.

Saran dalam penelitian ini adalah dalam akuisisi data, sebaiknya digunakan sistem LiDAR dengan pengaturan dapat menangkap pantulan sinar laser kedua atau lebih, hal tersebut dapat mempermudah proses klasifikasi atau juga pencarian *tie lines* dalam melakukan *strip adjustment* menggunakan metode *tie lines*.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih bagi setiap pihak yang telah mendukung penulisan karya ilmiah ini yaitu civitas akademika Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2007). *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Ahmad, N., Ghazilla, R., & Khairi, N. M. (2013). Reviews on Various Inertial Measurement Unit (IMU) Sensor Applications. *International Journal of Signal Processing Systems Vol. 1, No. 2*, 256-262.
- Doyle, F. J. (1978). Digital Terrain Model: An Overview. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 44, No 12*, 1481-1485.
- Duantari, N., & Cahyono, A. B. (2017). Analisis Perbandingan DTM (Digital Terrain Model) dari LiDAR (Light Detection and Ranging) dan Foto Udara dalam Pembuatan Kontur Peta Rupa Bumi Indonesia. *Jurnal Teknik ITS Vol 6, No 2*, A699-A703.
- Fujii, T., & Fukuchi, T. (2005). *Laser Remote Sensing*. Boca Ranton, Florida, United States of America: CRC Press.
- Habib, A. F., Kersting, A. P., Ruifang, Z., Al-Durgham, M., Kim, C., & Lee, D. C. (2008). LIDAR *Strip adjustment* Using Conjugate Linear Features in Overlapping Strips. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol XXXVII. Part B1*, 385-390.
- Kornus, W., & Ruiz, A. (2003). *Strip adjustment* of LiDAR Data. *ISPRS Archives - Volume XXXIV-3/W13*.
- Prasetyaningsih, D. (2012). Partisipasi Indonesia Dalam Pembahasan Sistem Satelit Navigasi Global (Global Navigation Satellite System) Dalam Sidang Uncopuos. *Berita Dirgantara Vol. 13 No. 4*, 121-130.
- Sithole, G., & Vosselman, G. (2005). *Filtering of Airborne Laser Scanner Data Based on Segmented Point clouds*. *ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop "Laser Scanning 2005"*, 66-71.
- Soininen, A. (2015, oktober 19). *Terrasolid User Guides*. Retrieved from Terrasolid Web

- site:  
[http://www.terrasolid.com/download/tmat\\_ch.pdf](http://www.terrasolid.com/download/tmat_ch.pdf)
- Soininen, A. (2016, Juli 8). *Terrasolid User Guides*. Retrieved from Terrasolid Web site:  
<http://www.terrasolid.com/download/tmodel.pdf>
- Soininen, A. (2016, April 18). *Terrasolid User Guides*. Retrieved from Terrasolid Web site:  
<http://www.terrasolid.com/download/tscan.pdf>
- Vosselman, G. (2000). Slope Based *Filtering* of Laser Altimetry Data. *IAPRS, Vol. XXXIII*, 935-942.
- Weitkamp, C. (2005). Lidar: Introduction. In T. F. Fukuchi, *Laser Remote Sensing* (pp. 1-37). Boca Raton: CRC Press.
- Yunfei, B., Chunxiang, C., Xiaowen, L., Hao, Z., Qisheng, H., Linyan, B., & Chaoyi, C. (2008). Classification of LIDAR *Point cloud* and Generation of DTM from LIDAR Height and Intensity Data in Forested Area. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information. Vol XXXVII. Part B3b*, 313-318.
- Zuo, Z. Q., dkk (2012). General Mathematical Model of Least Squares 3D Surface Matching and Its Application of *Strip adjustment*. *International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B3*, 205-210