



Jambura Geoscience Review

p-ISSN 2623-0682 | e-ISSN 2656-0380

Department of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo



Kajian Perbandingan Akurasi DTM Pengolahan Data Foto Udara Menggunakan Metode Otomatis Dan Semi-Otomatis *Filtering*

Raynier Geraldino Dadu Kerong¹, Martinus Edwin Tjahjadi¹, Fransisca Dwi Agustina¹¹Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional Malang, Jl. Sigura-gura No.2, Kota Malang 65152, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 17 November 2021

Accepted: 21 January 2022

Published: 29 January 2022

Keywords:

Automatic Filtering; DTM; Semi-Automatic Filtering; Spot-Height; UAV

Corresponding author:

Raynier Geraldino Dadu Kerong

Email: rayniergeraldino@gmail.com

Read online:



Scan this QR code with your smart phone or mobile device to read online.

ABSTRACT

Advances in UAV technology produce various superior products that can be utilized for the development and analysis of natural dynamics. One of them is DTM which is a visual representation of the shape of the ground surface that is displayed in 3 dimensions. DTM is obtained from the results of DSM filtering, where all features above the ground are digitally removed using a certain method. To produce a good DTM, a good quality DSM is needed, therefore a Horizontal and Vertical accuracy analysis was carried out based on ASPRS 2015. In this study, two software with different data processing methods were used, namely automatic filtering and semi-automatic filtering from DSM to DTM. To determine the quality of DTM, spot-height data is used as a comparison which is considered to be the actual form in the field. From the series of data processing processes, DTM results were obtained which were then tested for accuracy utilizing statistical validation tests using the calculation of RMSEZ values and non-statistical validation tests (Visual) using the transverse profile method. The test results show that the DTM produced by the PCI Geomatica software with the semi-automatic filtering method has more accurate and precise quality than the DTM from the SAGA GIS software with the automatic filtering method with an elevation value of 1,249 m and RMSEZ 3,542 m to the spot-height. Then the visualization of the DTM transverse profile produced by the PCI Geomatica software semi-automatic filtering method to the spot height also does not appear to experience a significant difference where the elevation at Point 1 is 0.5 m and Point 2 is 0.5 m.

How to cite: Kerong, R. G. D., Tjahjadi, M. E., & Agustina, F. D. (2022). Kajian Perbandingan Akurasi DTM Pengolahan Data Foto Udara Menggunakan Metode Otomatis Dan Semi-Otomatis Filtering. *Jambura Geoscience Review*, 4(1), 69-85. <https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v4i1.12046>

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dengan kamera non-metrik sangat membantu dalam pekerjaan pemetaan dibidang foto udara. Namun, pemanfaatan foto udara dengan kamera non-metrik memiliki keterbatasan pada *Interior Orientation Parameter* (IOP) yang tidak stabil. Keterbatasan tersebut diantaranya adalah pengaruh angin saat terbang, yang berpotensi terjadi *drift* dan perbedaan skala. Hal ini juga berpengaruh pada area cakupan yang kecil, sehingga tidak mendukung untuk dilakukan pemrosesan secara fotogrametri analitik, seperti pemrosesan pada foto udara metrik. Alternatif lain yang dapat dilakukan yaitu dengan menerapkan teknologi fotogrametri digital, dengan kombinasi antara teknologi fotogrametri dan komputer *vision* (Riadi, 2015). Teknologi fotogrametri digital yang digunakan adalah sebuah *software* untuk memproses metadata foto udara dari UAV. Perangkat lunak ini menghasilkan berbagai produk fotogrametri digital, salah satu contohnya adalah *Digital Terrain Model* (DTM). DTM merupakan

bentuk digital dari permukaan tanah, yang tidak ada objek di atasnya. Selain itu, merupakan representasi tiga dimensi permukaan tanah yang terdiri dari koordinat x, y, dan z. Koordinat tersebut disimpan ke dalam bentuk digital yang mencakup unsur-unsur geografis dan fitur alami seperti sungai, jalur pegunungan, dan lain-lain (Duantari et al., 2017).

Berkembangnya ilmu pengetahuan, mendorong penemuan *software* yang mampu mengolah metadata foto udara menjadi DTM. Namun, masing-masing *software* tersebut memiliki tingkat akurasi yang berbeda-beda, terutama dalam menghasilkan DTM secara akurat dan presisi. Dikarenakan beda *software* berbeda juga metode pengolahannya, ada yang diproses secara otomatis *filtering*, ada yang diproses secara manual *filtering*, dan ada yang diproses secara semi-otomatis *filtering*. Sementara itu beberapa dekade ini semakin banyak pekerjaan dibidang fotogrametri yang menuntut kinerja dalam menghasilkan kualitas DTM yang akurat dan presisi.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya (Martiana et al., 2017; Franstein et al., 2019; Wirantiko et al., 2020) *software* yang sering digunakan dan terbukti dapat menghasilkan DTM yang presisi adalah *software* dengan metode pengolahan otomatis *filtering*. Akan tetapi DTM hasil dari *software* dengan metode otomatis *filtering* ini belum menunjukkan kemiripan atau keakuratan yang mendekati DTM *Stereoplotting* yang digunakan sebagai *benchmark*-nya. Dikarenakan kekurangan *software* tersebut penulis menggunakan sebuah *software* dengan metode berbeda yaitu *software* dengan metode pengolahan semi-otomatis *filtering* sebagai pembandingnya. *Software* ini sudah sangat sering digunakan baik itu di dalam maupun di luar negeri namun hanya untuk pembuatan *orthophoto* dan jarang digunakan untuk pembuatan DTM, akan tetapi berdasarkan penelitian (Muhammad & Tahar, 2021; Pepe et al., 2021) terbukti *software* dengan metode pengolahan semi-otomatis *filtering* juga dapat menghasilkan DTM yang presisi.

Penelitian ini fokus mengkaji perbandingan akurasi DTM, antara hasil pengolahan data otomatis *filtering* dengan data semi-otomatis *filtering*. Perbandingan ini dilakukan terhadap hasil pengukuran *Spotheight* (nilai ketinggian tanah) yang dianggap sebagai bentuk sebenarnya di lapangan. Sebelum hal tersebut dilakukan, diperlukan proses menganalisis ketelitian *Digital Surface Model* (DSM) berdasarkan standar *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS). DSM merupakan representasi suatu permukaan fisik dari sekumpulan titik-titik koordinat tiga dimensi. Data hasil DSM berisi vegetasi, jalan, bangunan, dan fitur medan alami. DSM digunakan untuk membentuk DTM dengan membuang semua fitur pada permukaan area secara digital (Duantari et al., 2017).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui DTM yang lebih presisi dan akurat. Penelitian ini dapat menjadi rekomendasi bagi *surveyor* dalam memanfaatkan *software* yang tepat untuk menghasilkan DTM Presisi. *Software* yang memiliki akurasi DTM yang tinggi dapat digunakan sebagai dasar pemetaan dan analisis bencana alam.

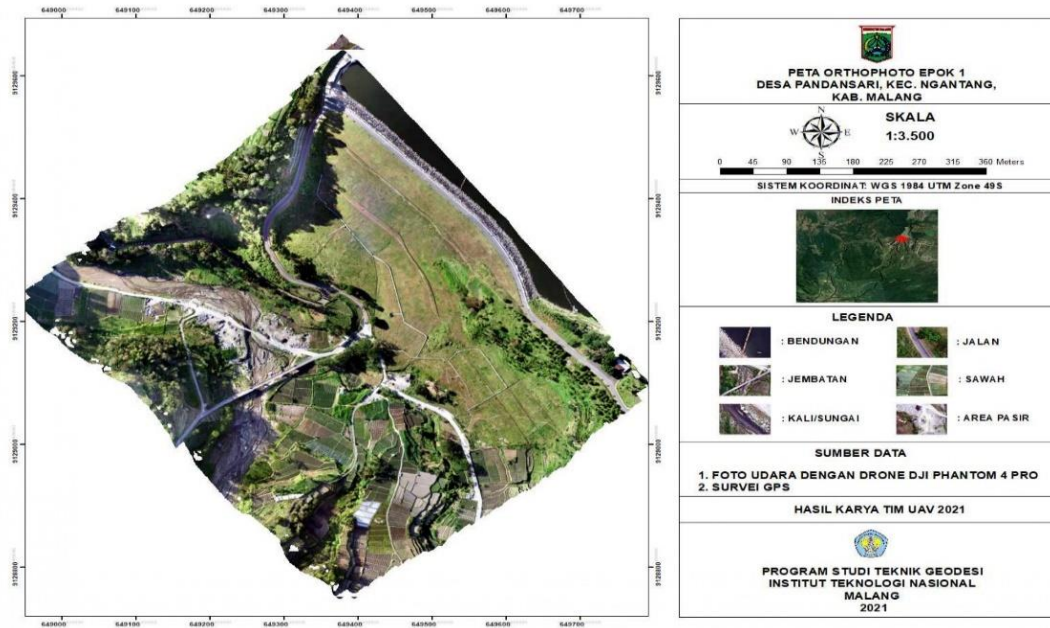
2. METODE

2.1. Lokasi Penelitian dan Tahapan Pengumpulan Data

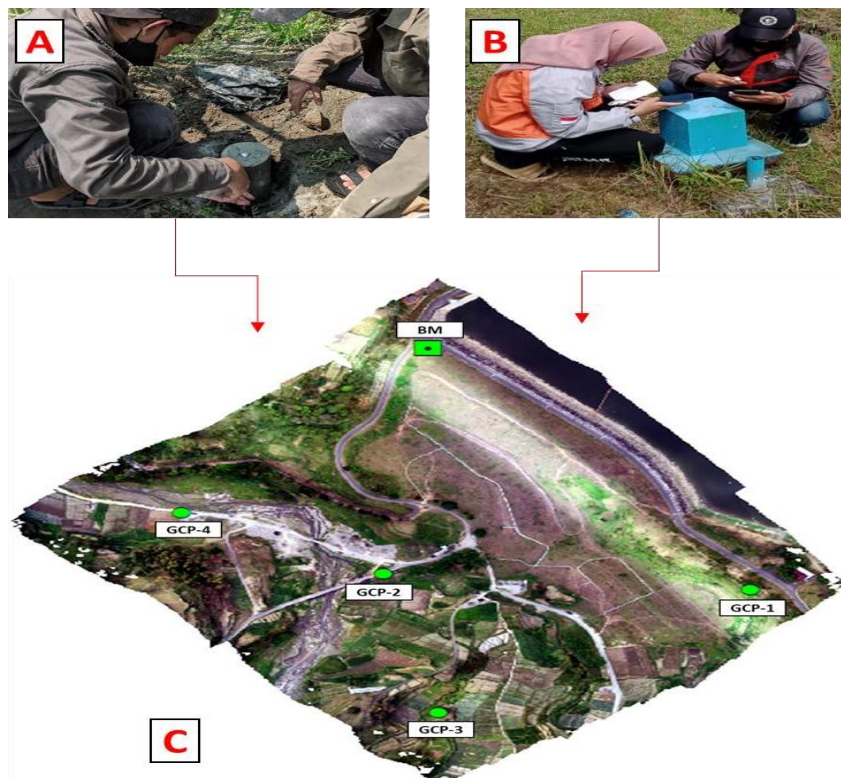
Penelitian ini berlokasi di daerah dekat Waduk Selorejo, Desa Pandansari, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang, Jawa Timur (Gambar 1). Secara geografis Desa Pandansari terletak di $7^{\circ}51'57,58''$ LS dan $112^{\circ}21'39,68''$ BT. Area penelitian ini terletak pada ketinggian 555-657 meter dari permukaan laut. Luas lokasi penelitian mencapai (\pm 25 Ha), daerah ini dipilih karena tingkat vegetasinya yang rendah serta konturnya yang bervariasi. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data yang diperoleh secara langsung dengan pengukuran di lapangan. Persiapan dan pengumpulan data GPS, *spotheight*, dan foto udara dalam penelitian ini merupakan 3 bagian utama.

2.2.1. Persiapan dan Pengumpulan Data GPS

Tahapan ini bertujuan untuk memperoleh data GPS, yaitu data koordinat GCP dan koordinat ICP. Sebelum melakukan pengambilan data, dilakukan persiapan terlebih dahulu diantaranya adalah penentuan jumlah GCP. Peneliti menetapkan 4 titik patok beton dengan mengacu pada Peraturan BIG No.1 Tahun 2020. Patok ini sebelumnya telah dibuat dan juga memanfaatkan patok-patok yang sudah ada di lokasi penelitian seperti pada Gambar 2. Titik GCP tersebar pada area penelitian, yaitu terletak pada pojok, perimeter, dan tengah area pekerjaan (BIG, 2020).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

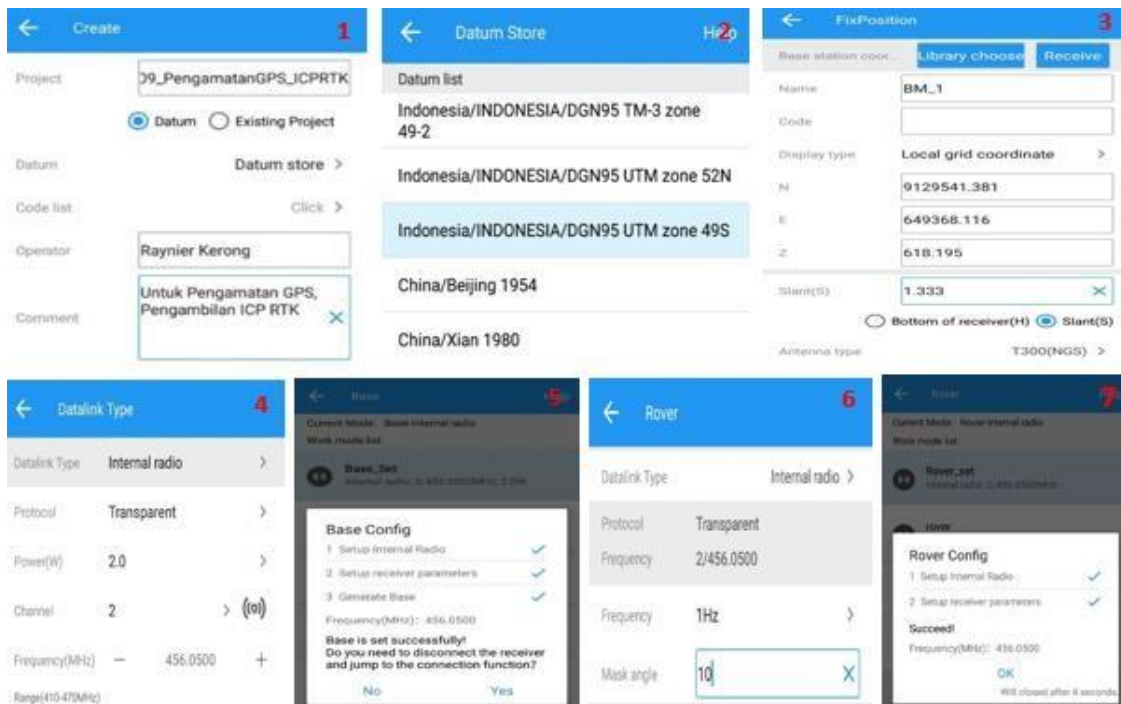


Gambar 2. (a) patok yang dibuat sendiri, (b) patok yang sudah ada di area penelitian, (c) persebaran titik GCP

Pengambilan data GCP menggunakan GPS Comnav T300 metode *rapit static*, dengan lama pengamatan 30 menit pada setiap titik/patok GCP (Khomsin et al., 2019). Pengamatan ini menggunakan 3 *receiver*, dimana terdapat koordinat titik tetap/BM pada daerah penelitian. Selanjutnya, dilakukan pengamatan secara bersamaan dengan *base* tetap pada BM dan 2 *rover* pada titik GCP 1 dan GCP 2 kemudian *Rover* pindah ke titik GCP 3 dan GCP 4. Pengamatan ini menghasilkan 4 data titik koordinat.

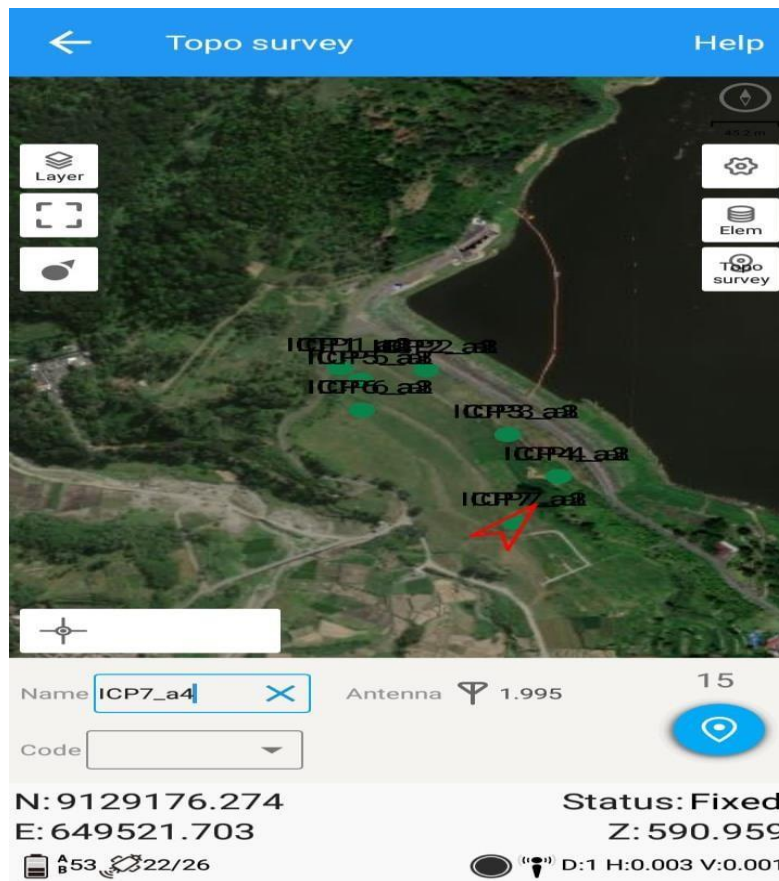


Gambar 3. Persebaran titik ICP



Gambar 4. Proses setting base dan rover untuk pengambilan data metode RTK

Penentuan jumlah persebaran ICP didasarkan pada standar ASPRS dan disesuaikan dengan luas area penelitian. Jumlah ICP yang digunakan dalam penelitian ini adalah 25 titik (ASPRS, 2015). Patok yang dijadikan sebagai titik ICP sama dengan GCP, yang di buat sendiri dari beton dan memanfaatkan patok ada di area penelitian. Persebaran 25 titik ICP tersaji pada Gambar 3. Pengambilan data ICP menggunakan GPS Comnav T300 metode *Real Time Kinematic* (RTK). Metode RTK menggunakan *Network Transport of RTCM via Internet Protocol* (NTRIP), dengan



Gambar 6. Setting untuk pengambilan data ICP

waktu pengamatan 15 detik (Harfan et al., 2019). Adapun proses *setting* RTK yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4. Pengambilan data dilakukan sebanyak 4 kali *Fixed* pada setiap titik/patok ICP seperti pada Gambar 6. Pengamatan ini menggunakan 2 *receiver*, dimana *Base* tetap pada titik BM dan *Rover* yang berpindah dari titik ICP 1, ICP 2 dan berurutan sampai ICP 25, sehingga menghasilkan 25 data titik koordinat.

2.2.2. Persiapan dan Pengumpulan Data *Spotheight*

Tahapan ini tujuan utamanya adalah memperoleh data koordinat *Spotheight*. Tahap persiapan yang dilakukan adalah pengecekan kelengkapan alat *total station* beserta *instrument* pendukung lainnya dan penentuan titik berdiri alat. Penempatan alat berada pada tempat yang bebas dan luas pandangan, sehingga dapat di maksimalkan dalam pengambilan data. Apabila persiapan sudah tepat, maka selanjutnya dilakukan pengambilan data detail ketinggian tanah (*Spotheight*) (Fauzan et al., 2021). Pengumpulan data tersebut menggunakan alat *Total Station Topcon ES-65 SN: YL1492*. Metode pengukurannya memanfaatkan titik-titik GCP dan ICP yang sudah diketahui koordinatnya sebagai *Backsight* (titik stasiun belakang) dan juga sebagai titik alat berdiri. Detail ketinggian tanah diperoleh dari bidikan ke prisma/reflektor yang digunakan sebagai titik pengukuran. Setiap titik detail diambil sebanyak 3 kali dan dilakukan pada 1454 titik detail ketinggian tanah yang tersebar di seluruh area penelitian. Pengukuran ini menghasilkan 1454 titik koordinat detail ketinggian tanah (*spotheight*).

2.2.3. Persiapan dan Pengumpulan Data Foto Udara

Tahapan ini tujuan utamanya adalah memperoleh data foto udara melalui survey lokasi, pemasangan premark, dan membuat rencana jalur terbang. Prosedur ini berdasarkan Peraturan BIG No.1 Tahun 2020, akan tetapi disesuaikan dengan area penelitian dan tujuan pengambilan data. Diantaranya menentukan *Area of Interest (AOI)*, membuat jalur terbang sesuai dengan bentuk AOI dan topografinya, mendesain pertampalan ke muka (*forward overlap*) $\geq 60\%$, mendesain pertampalan ke samping (*side overlap*) $\geq 30\%$, mendesain nilai *Ground Sampling Distance (GSD)*

dengan target GSD < 5cm, posisi base station harus berada pada daerah terbuka (BIG, 2020). Jika persiapan sudah selesai, selanjutnya melakukan pengambilan data Foto Udara menggunakan wahana UAV yaitu Drone Dji Phantom 4 Pro yang menghasilkan 1654 data foto.

2.2. Pengolahan Data

Sebelum dilakukan pengolahan data, hal penting dilakukan adalah kontrol kualitas data, meliputi: (1) kontrol kualitas data *rinex* pada hasil pengamatan GPS yaitu khususnya data GCP karena menggunakan metode *rapit static*, (2) mengetahui kualitas data ICP hasil pengamatan menggunakan metode RTK, dengan melakukan perhitungan ketelitian data yaitu standar deviasi rata-rata dari 25 titik ICP. Semakin kecil standar deviasinya maka semakin bagus juga datanya, (3) mengetahui kualitas data *spotheight* hasil pengukuran Total station metode Radial, dengan melakukan perhitungan ketelitian data yaitu standar deviasi rata-rata dari 1454 titik *spotheight*. Semakin kecil standar deviasinya maka semakin bagus juga datanya, (4) mengetahui kualitas data foto udara dari pemotretan menggunakan wahana UAV, dengan *me-report* kualitas data hasil pemotretannya menggunakan sebuah software fotogrametri, khususnya *report* hasil orthorektifikasi terhadap 4 titik GCP untuk mengetahui hasil akurasi terhadap sumbu x, y, dan z.

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan beberapa *software*, antara lain: (1) *software* fotogrametri untuk pengolahan data foto udara dan data GCP menjadi DSM dan Orthophoto, (2) PCI Geomatica 2014 dengan metode pengolahan semi-otomatis *filtering* digunakan untuk pengolahan data DSM menjadi DTM, (3) SAGA GIS 7.7.0 dengan metode pengolahan otomatis *filtering* digunakan untuk pengolahan data DSM menjadi DTM, (4) *software* pemetaan digunakan untuk pengolahan data *spotheight* menjadi DTM *spotheight* topografi, Uji ketelitian DSM terhadap data ICP, dan Validasi statistik DTM hasil dari 2 *software* berbeda terhadap data *spotheight*, (5) *software* pemetaan digunakan untuk uji validasi non-statistik (visual) DTM metode profil melintang dari 2 *software* berbeda terhadap DTM *spotheight* Topografi, (6) Microsoft Excel 2019 digunakan untuk perhitungan data *spotheight*. Perhitungan data ICP, perhitungan RMSE berdasarkan standar ASPRS (2015), perhitungan uji ketelitian DSM terhadap ICP, dan perhitungan validasi statistik DTM hasil dari 2 *software* berbeda terhadap data *spotheight*.

2.3. Analisis Data

Fokus utama penelitian ini adalah membandingkan 2 *software* yaitu; SAGA GIS dengan metode pengolahan otomatis *filtering* dan PCI Geomatica dengan metode pengolahan semi-otomatis *filtering*, untuk mengetahui DTM yang lebih presisi dan akurat hasil perbandingan 2 *software* tersebut. Validasi atau data pembandingan yang digunakan adalah data detail ketinggian tanah (*spotheight*) hasil pengukuran secara terestris yang di anggap benar dan mewakili nilai ketinggian sebenarnya dilapangan.

Sebelum proses validasi DTM terhadap data *spotheight*, melakukan analisis ketelitian data DSM terhadap ICP. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui tingkat ketelitian DSM yang dijadikan bahan utama untuk menghasilkan DTM. Mengetahui ketelitian dari DSM, dilakukan perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE). RMSE adalah suatu Teknik peramalan yang digunakan untuk mengukur tingkat akurasi hasil prakiraan suatu model. RMSE merupakan nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan. Selain itu, menyatakan ukuran besarnya kesalahan yang di hasilkan oleh suatu model prakiraan. Nilai RMSE dihitung menggunakan Persamaan 1, 2, dan 3 (Putra, 2016) :

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum(x_{data,i} - x_{cek,i})^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum(y_{data,i} - y_{cek,i})^2}{n}} \quad (2)$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum(z_{data,i} - z_{cek,i})^2}{n}} \quad (3)$$

Tabel 1. Standar akurasi horizontal untuk data geospasial

| Akurasi Mutlak | | | | |
|--------------------------|--|------------------------|--|---|
| Kelas akurasi horizontal | RMSE _x dan RMSE _y (cm) | RMSE _r (cm) | Akurasi horizontal pada tingkat kepercayaan 95% (cm) | Ketidakkocokan seamline citra ortho mosaic (cm) |
| X-cm | ≤ X | ≤ 1.414*X | ≤ 2.448*X | ≤ 2*X |

Sumber: ASPRS (2015)

Tabel 2. Akurasi horizontal/ contoh kualitas untuk data geospasial

| Skala peta | Perkiraan sumber gambar GSD | Kelas akurasi data horizontal | RMSE _x atau RMSE _y (cm) | RMSE _r (cm) | Akurasi horizontal pada tingkat kepercayaan 95% (cm) |
|------------|-----------------------------|-------------------------------|---|------------------------|--|
| 1:100 | 1-2 cm | I | 1.3 | 1.8 | 3.1 |
| | | II | 2.5 | 3.5 | 6.1 |
| | | III | 3.8 | 5.3 | 9.2 |
| 1:200 | 2-3 cm | I | 2.5 | 3.5 | 6.1 |
| | | II | 5.0 | 7.1 | 12.2 |
| | | III | 7.5 | 10.6 | 18.4 |

Sumber: ASPRS (2015)

Tabel 3. Standar akurasi vertikal untuk data elevasi digital

| Kelas akurasi vertikal | Akurasi mutlak | | | Akurasi relatif (jika ada) | | |
|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|--|---|
| | RMSE _z non-vegetasi (cm) | NVA pada tingkat kepercayaan 95% (cm) | VVA pada tingkat kepercayaan 95% (cm) | Di dalam petak pengulangan permukaan yang keras (perbedaan maks) (cm) | Petak-ke-petak medan non-vegetasi (RMSE _{Dz}) (cm) | Petak-ke-petak medan non-vegetasi (perbedaan maks) (cm) |
| X-cm | ≤ X | ≤ 1.96*X | ≤ 3.00*X | ≤ 0.60*X | ≤ 0.80*X | ≤ 1.60*X |

Sumber: ASPRS (2015)

Tabel 4. Akurasi vertikal / contoh kualitas untuk data elevasi digital

| Kelas akurasi data vertikal | RMSE _z di medan non-vegetasi (cm) | Akurasi vertikal non-vegetasi pada tingkat kepercayaan 95% (cm) | Akurasi vertikal bervegetasi (VVA) pada tingkat kepercayaan 95% (cm) | Petak akurasi relatif di medan yang non-vegetasi (RMSE _{Dz} /perbedaan maks) (cm) |
|-----------------------------|--|---|--|--|
| I | 1.0 | 2.0 | 2,9 | 0.8/1.6 |
| II | 2,5 | 4.9 | 7.4 | 2.0/4.0 |
| III | 5.0 | 9.8 | 14,7 | 4.0/8.0 |
| IV | 10,0 | 19,6 | 29,4 | 8.0/16.0 |
| V | 12,5 | 24,5 | 36,8 | 10.0/20.0 |
| VI | 20,0 | 39.2 | 58,8 | 16.0/32.0 |
| VII | 33.3 | 65.3 | 98,0 | 26.7/53.3 |

Sumber: ASPRS (2015)

dimana: RMSE_x adalah Nilai *root mean square error* x; RMSE_y adalah Nilai *root mean square error* y; RMSE_z adalah Nilai *root mean square error* z; x data i, y data i, dan z data I adalah Koordinat posisi titik ke-1 data set; x cek i, y cek i, dan z cek I adalah Koordinat posisi titik ke-1 data titik cek; n adalah Jumlah titik cek yang diuji; I adalah Bilangan bulat dari 1 sampai n. Nilai RMSE untuk komponen horizontal dihitung menggunakan Persamaan (4) dan (5):

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{\sum (x_{data,i} - x_{cek,i})^2 + (y_{data,i} - y_{cek,i})^2}{n}} \quad (4)$$

$$RMSE_r = \sqrt{(RMSE_x)^2 + (RMSE_y)^2} \quad (5)$$

RMSE untuk komponen horizontal dihitung menggunakan Persamaan 6 dan komponen vertikal menggunakan Persamaan 7, pada tingkat kepercayaan 95%.

$$RMSE_r = 1.7308 * RMSE_r \quad (6)$$

$$RMSE_z = 1.9600 * RMSE_z \quad (7)$$

Hasil perhitungan RMSE pada tingkat kepercayaan 95% disesuaikan dengan Akurasi horizontal/ contoh kualitas untuk data geospasial yang tersaji pada Tabel 2, Akurasi vertikal/ contoh kualitas untuk data elevasi digital tersaji pada Tabel 4, sesuai dengan standar ASPRS untuk di analisis kelas akurasi serta skala pada peta (ASPRS, 2015). Perhitungan RMSE ini selain digunakan untuk pengujian ketelitian DSM terhadap ICP. Selain itu, digunakan untuk Uji Validasi dan Analisis DTM hasil pengolahan software SAGA GIS (metode otomatis *filtering*) dengan PCI Geomatica (metode semi-otomatis *filtering*) terhadap data *Spotheight*. DTM yang memiliki RMSE paling kecil, dalam hal ini yang difokuskan adalah ketelitian vertikalnya (RMSE_z), adalah DTM yang diasumsikan lebih presisi dan akurat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengolahan Data GCP dan ICP

Data mentah terlebih dahulu diolah pada *software* pengolahan data GPS, sehingga data hasil pengukuran lebih akurat dan sesuai dengan posisi sebenarnya di lapangan. Adapun hasil kualitas data rinex dari pengamatan 4 GCP tersaji seperti Tabel 5 dan *multipath for GNSS signal* untuk GCP tersaji pada Gambar 7. Hasil pengolahan data GCP ditunjukkan pada Tabel 6, desain pengikatan titik GCP terhadap BM tersaji pada Gambar 8. Pengambilan data menggunakan GPS juga menghasilkan 25 data titik koordinat ICP dengan metode RTK. Data koordinat ICP tersebut kemudian dihitung rata-rata dan standar deviasinya dengan hasil seperti tersaji pada Tabel 7, desain pengikatan titik ICP terhadap BM seperti tersaji pada Gambar 8.

3.2. Hasil Pengolahan Data *Spotheight*

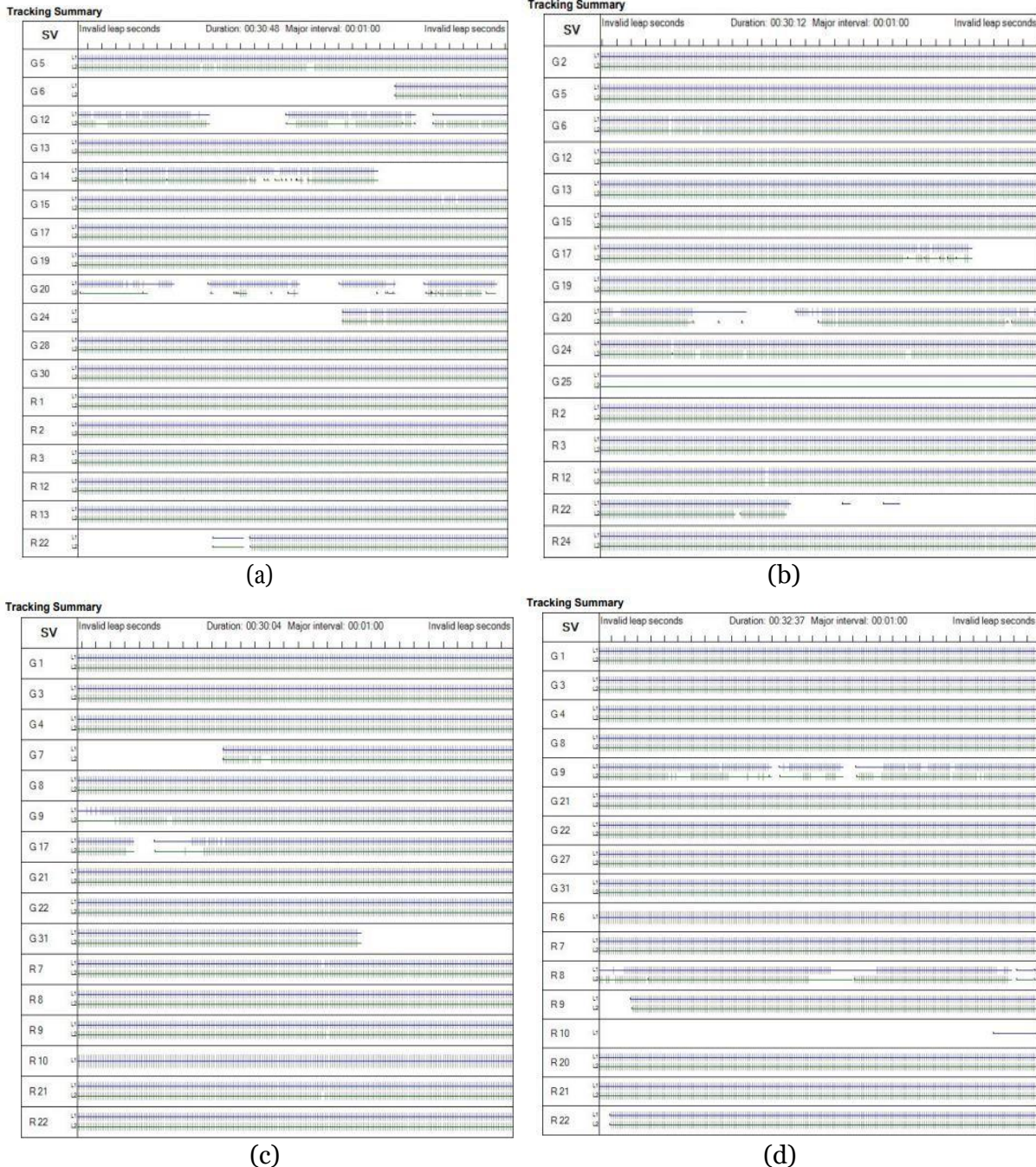
Pengolahan data *spotheight* menggunakan 2 *software* yaitu *software* pengolahan data *total station* untuk mengecek data terekam atau tidaknya saat pengukuran dan *software* Microsoft Excel untuk menghitung datanya. Pengolahan ini menghasilkan data koordinat *spotheight* seperti tersaji pada Tabel 8.

3.3. Hasil Pengolahan Data Foto Udara

Pengolahan foto udara dilakukan dengan menggunakan *software* fotogrametri, proses tersebut menggunakan data foto sebanyak 1654 foto, 1 titik koordinat BM, dan 4 titik koordinat GCP yang diperoleh dari hasil pengukuran GPS. Secara garis besar, proses ini dinamakan orthorektifikasi dengan hasil *report*nya tersaji pada Gambar 9. Adapun hasil pengolahan data foto udara tersebut

Tabel 5. Kualitas data rinex dari pengamatan 4 GCP

| No | Baseline pengamatan | Diproses | Jenis solusi | Frekuensi yang digunakan | Presisi Horizontal | Presisi Vertikal | RMS | Durasi pemrosesan |
|----|---------------------|----------------------|--------------|--------------------------|--------------------|------------------|---------|-------------------|
| 1 | BM...GCP_1 (B1) | Invalid leap seconds | Fixed | Dual Frequency (L1,L2) | 0,005 m | 0,008 m | 0,015 m | 0:30:40 |
| 2 | BM...GCP_2 (B2) | Invalid leap seconds | Fixed | Dual Frequency (L1,L2) | 0,004 m | 0,005 m | 0,010 m | 0:30:00 |
| 3 | BM...GCP_3 (B1) | Invalid leap seconds | Fixed | Dual Frequency (L1,L2) | 0,003 m | 0,006 m | 0,008 m | 0:29:50 |
| 4 | BM...GCP_4 (B2) | Invalid leap seconds | Fixed | Dual Frequency (L1,L2) | 0,004 m | 0,006 m | 0,012 m | 0:32:30 |



Gambar 7. Multipath untuk GNSS signal data; (a) GCP 1, (b) GCP 4, (c) GCP 2, (d) GCP 3

berupa DSM yang memuat informasi berupa data ketinggian Vegetasi dan Non Vegetasi tersaji pada Gambar 10 dan orthophoto yang menggambarkan posisi dan objek apa saja yang ada pada daerah penelitian seperti tersaji pada Gambar 11. Selanjutnya setelah data DSM dan Orthophoto diperoleh maka dilakukan analisis ketelitian yang meliputi analisis ketelitian Horizontal (Ketelitian Orthophoto) dan ketelitian Vertikal (Ketelitian DSM), analisis ini dilakukan dengan menggunakan perhitungan RMSE Horizontal dan Vertikal, untuk mengetahui besarnya nilai ketelitian Horizontal dan Vertikal berdasarkan pada standar ASPRS (2015).

3.3.1. Hasil Analisis Ketelitian Horizontal (Ketelitian *Orthophoto*)

Ketelitian Horizontal dihasilkan dari besarnya kesalahan atau perbedaan posisi objek di peta (*Orthophoto*) dengan posisi sebenarnya (ICP). Proses analisis ini dilakukan dengan cara menghitung selisih nilai koordinat x dan y dari 25 titik ICP hasil dari pengukuran GPS dengan nilai koordinat x dan y dari Orthophoto yang sudah didigitasi menggunakan *software* pemetaan. Digitasi yang

Tabel 6. Hasil pengolahan data GCP

| Point ID | X (m) | Y (m) | Z (m) | σ_X (m) | σ_Y (m) | σ_Z (m) |
|-----------------------------|------------|-------------|---------|----------------|----------------|----------------|
| BM | 649368.116 | 9129541.381 | 618.195 | | | |
| GCP_1 | 649700.146 | 9129097.718 | 625.985 | 0.002 | 0.002 | 0.004 |
| GCP_2 | 649322.02 | 9129126.314 | 570.116 | 0.001 | 0.001 | 0.003 |
| GCP_3 | 649379.33 | 9128871.361 | 590.478 | 0.002 | 0.001 | 0.003 |
| GCP_4 | 649114.958 | 9129238.722 | 560.617 | 0.001 | 0.001 | 0.003 |
| Total (m) | | | | 0.006 | 0.005 | 0.013 |
| Akurasi $\sigma(X,Y,Z)$ (m) | | | | 0.008 | | |

Tabel 7. Hasil pengolahan data ICP

| Point ID | X (m) | Y (m) | Z (m) | σ_X (m) | σ_Y (m) | σ_Z (m) |
|-----------------------------|-------------|-------------|-----------|----------------|----------------|----------------|
| ICP_1 | 649332.1318 | 9129473.037 | 609.2274 | 0.0061 | 0.0059 | 0.0028 |
| ICP_2 | 649425.8483 | 9129469.427 | 611.30125 | 0.003 | 0.0111 | 0.0047 |
| ICP_3 | 649513.5624 | 9129344.058 | 603.9826 | 0.0104 | 0.0168 | 0.0048 |
| ICP_4 | 649568.8388 | 9129263.589 | 614.416 | 0.0072 | 0.0105 | 0.0055 |
| | | | | | | |
| ICP_25 | 649145.7498 | 9129284.368 | 559.589 | 0.0122 | 0.0221 | 0.044 |
| Total (m) | | | | 0.0095 | 0.0117 | 0.0053 |
| Akurasi $\sigma(X,Y,Z)$ (m) | | | | 0.009 | | |

**Gambar 8.** Persebaran titik GCP (kiri) dan titik ICP (kanan), serta desain pengikatan terhadap BM

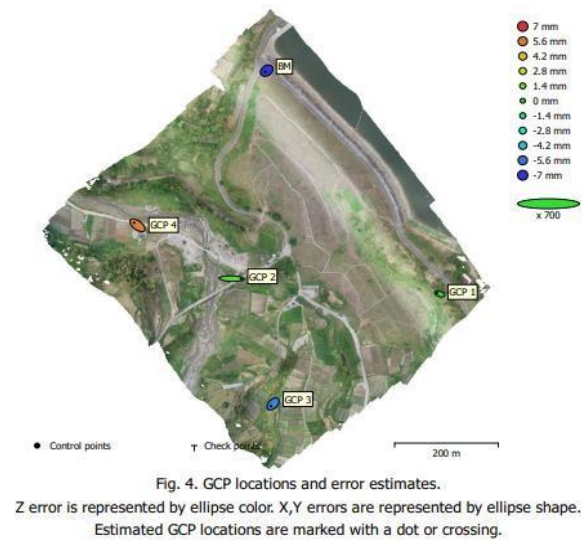
dimaksud adalah mendigitasi 25 patok/titik ICP yang terlihat pada *orthophoto*. Hasil perhitungan ini tersaji pada Tabel 9. Berdasarkan hasil perhitungan ketelitian horizontal, nilai *NSSDA Horizontal Accuracy 95% confidence Level* adalah 0.20589 m (20.589 cm). Ini berarti bahwa ketelitian Horizontal dengan tingkat kepercayaan 95% menunjukkan kesesuaian dengan standar ASPRS 2015 yang dapat dilihat pada Tabel 2, yaitu pada ketelitian skala peta 1:200.

3.3.2. Hasil Analisis Ketelitian Vertikal (Ketelitian DSM)

Ketelitian Vertikal dihasilkan dari besarnya nilai kesalahan atau perbedaan nilai ketinggian atau elevasi objek dipeta (DSM) dengan nilai ketinggian sebenarnya (ICP). Proses analisis ini dilakukan dengan menghitung selisih elevasi atau nilai koordinat z dari 25 titik ICP hasil dari pengukuran GPS, dengan elevasi atau nilai koordinat z dari DSM yang sudah didigitasi menggunakan *software* pemetaan. Digitasi yang dimaksud adalah mendigitasi 25 patok/titik ICP yang terlihat pada *Orthophoto* yang *overlay* dengan DSM, hasil perhitungan ini tersaji pada Tabel 10. Berdasarkan hasil perhitungan ketelitian vertikal, nilai *NSSDA Vertical Accuracy* pada tingkat kepercayaan 95%

Tabel 8. Hasil pengolahan data *spotheight*

| No | Point ID | X (m) | Y (m) | Z (m) | σX (m) | σY (m) | σZ (m) |
|-----------------------------|----------|-------------|-------------|-------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | DTL | 649316.5238 | 9129450.32 | 606.1441294 | 0.0012 | 0.0016 | 0.0002 |
| 2 | DTL | 649313.3882 | 9129451.378 | 608.4272534 | 0.0009 | 0.0015 | 0.0001 |
| 3 | DTL | 649309.7122 | 9129452.318 | 612.5202772 | 0.0015 | 0.0028 | 0.0002 |
| 4 | DTL | 649323.4058 | 9129476.15 | 608.582518 | 0.0029 | 0.0042 | 0.0006 |
| 5 | DTL | 649319.7031 | 9129476.891 | 611.7284916 | 0.003 | 0.004 | 0.0004 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1454 | DTL | 649307.4175 | 9129279.938 | 610.0034244 | 0.0005 | 0.0105 | 0.0009 |
| Total (m) | | | | | 0.0031 | 0.004 | 0.0016 |
| Akurasi $\sigma(X,Y,Z)$ (m) | | | | | 0.003 | | |



| Count | X error (cm) | Y error (cm) | Z error (cm) | XY error (cm) | Total (cm) |
|-------|--------------|--------------|--------------|---------------|------------|
| 5 | 2.69464 | 0.935863 | 0.458388 | 2.85253 | 2.88913 |

Table 4. Control points RMSE.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

| Label | X error (cm) | Y error (cm) | Z error (cm) | Total (cm) | Image (pix) |
|--------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------|
| BM | -0.799999 | -0.673504 | -0.689078 | 1.25237 | 0.301 (38) |
| GCP 1 | -1.38461 | 0.450365 | -0.0418475 | 1.45661 | 0.311 (22) |
| GCP 2 | 5.35429 | -0.145025 | 0.0689821 | 5.3567 | 0.441 (74) |
| GCP 3 | -1.15545 | -1.24385 | -0.525648 | 1.77723 | 0.379 (43) |
| GCP 4 | -1.93517 | 1.46784 | 0.54125 | 2.48845 | 0.439 (42) |
| Total | 2.69464 | 0.935863 | 0.458388 | 2.88913 | 0.395 |

Table 5. Control points.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Gambar 9. Hasil orthorektifikasi terhadap data BM dan 4 GCP

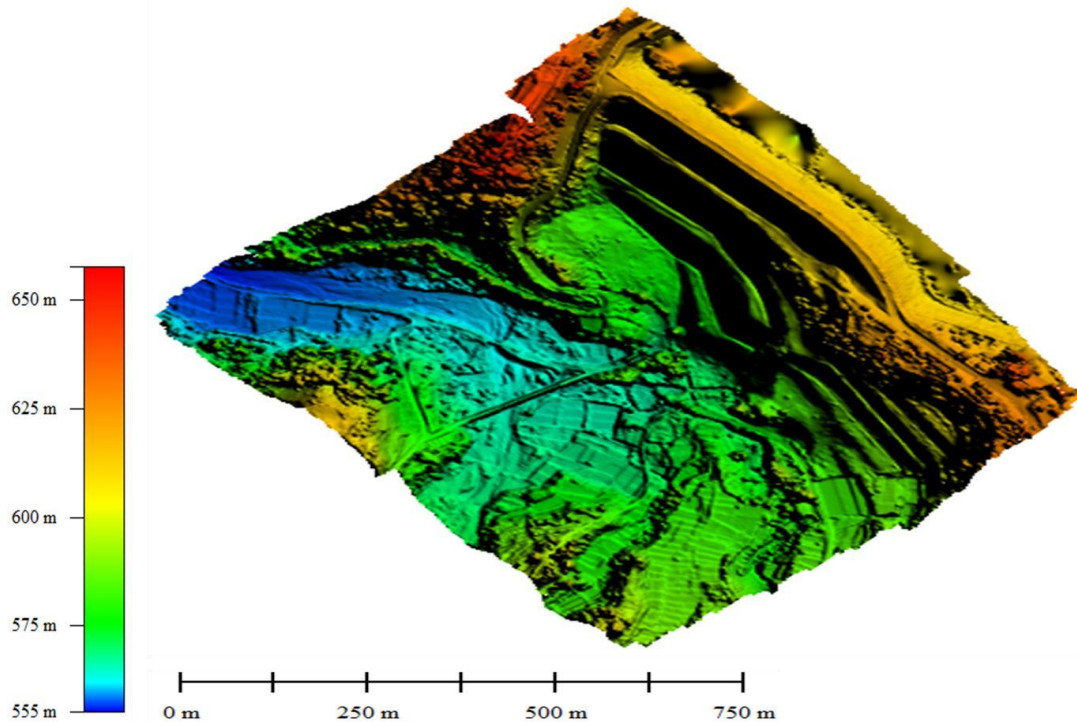
adalah 0.65227 m (65.227 cm). Ini berarti bahwa ketelitian Vertikal dengan tingkat kepercayaan 95% menunjukkan kesesuaian dengan standar ASPRS (2015) yang dapat dilihat pada Tabel 4, yaitu pada Kelas akurasi data vertikal VII.

3.4. Hasil Pengolahan Data DSM dan Data *Spotheight* Menjadi DTM

Hasil DSM dari pengolahan *software* fotogrametri sebelumnya masih mengandung unsur vegetasi (pohon, bangunan, jalan, dll), sehingga perlu dilakukan *filtering* atau penapisan. *Filtering* yang dimaksud yaitu, menghilangkan unsur vegetasi untuk menghasilkan DTM yang hanya mengandung unsur Non Vegetasi (permukaan tanah/*ground*) tanpa ada unsur vegetasi di atasnya. Pengolahan data DSM dilakukan menggunakan *software* SAGA GIS dengan metode otomatis *filtering* dengan hasil DTM tersaji pada Gambar 12, dan *software* PCI Geomatica dengan metode otomatis-manual *filtering* dengan hasil DTM tersaji pada Gambar 13. Selanjutnya dilakukan pengolahan data ketinggian tanah (*spotheight*) dengan jumlah 1454 titik koordinat hasil pengukuran menggunakan *total station*, menggunakan *software* pemetaan. Hasil pengolahan ini menghasilkan DTM *spotheight* topografi tersaji pada Gambar 14.

3.5. Hasil Uji Validasi DTM Foto Udara Terhadap Data *Spotheight*

Uji validasi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar selisih elevasi DTM foto udara dengan data *Spotheight* hasil pengukuran menggunakan *total station*. Uji validasi dalam penelitian ini dibedakan atas 2 yaitu uji validasi statistik dan non-statistik (visual).



Gambar 10. Hasil DSM



Gambar 11. Hasil Orthophoto

3.5.1. Uji Validasi Statistik

Uji validasi statistik dilakukan dengan cara menghitung selisih nilai elevasi dan nilai RMSEz dari 1454 titik referensi *spotheight* hasil dari pengukuran *total station* dengan DTM hasil pengolahan *software SAGA GIS* metode otomatis *filtering* dan *software PCI Geomatica* metode semi-otomatis *filtering*. DTM di digitasi menggunakan sebuah *software* pemetaan. Digitasi yang dimaksud adalah mendigitasi 1454 titik *spotheight* yang terlihat pada *Orthophoto* dan dioverlay dengan DTM hasil pengolahan *software SAGA GIS* metode otomatis *filtering* dan *software PCI Geomatica* metode semi-otomatis *filtering*.

Tabel 9. Hasil perhitungan RMSE horizontal

| Point ID | Koordinat orthophoto (m) | | Koordinat ICP (m) | | Residual errors (m) | |
|--|--------------------------|-------------|-------------------|-------------|---------------------|--------------|
| | x | y | x | y | Δx^2 | Δy^2 |
| ICP_1 | 649332.0864 | 9129473.112 | 649332.1318 | 9129473.037 | 0.002060161 | 0.00567913 |
| ICP_2 | 649425.8699 | 9129469.595 | 649425.8483 | 9129469.427 | 0.000467641 | 0.028106523 |
| ICP_3 | 649513.5964 | 9129343.94 | 649513.5624 | 9129344.058 | 0.001153961 | 0.013978333 |
| ICP_4 | 649568.8216 | 9129263.561 | 649568.8388 | 9129263.589 | 0.000294569 | 0.000774509 |
| ICP_5 | 649354.5997 | 9129449.077 | 649354.61 | 9129448.851 | 0.000106936 | 0.050981124 |
| | | | | | | |
| ICP_25 | 649145.7442 | 9129284.504 | 649145.7498 | 9129284.368 | 3.12146E-05 | 0.018580416 |
| Number check point | | | | | 25 | 25 |
| Total (m) | | | | | 0.120198064 | 0.233600008 |
| Mean (m) | | | | | 0.004807923 | 0.009344 |
| RMSE _x (m) | | | | | 0.069339185 | |
| RMSE _y (m) | | | | | 0.096664369 | |
| RMSE _r (m) | | | | | 0.118961855 | |
| NSSDA Horizontal Accuracy 95% Confidence Level (m) | | | | | 0.205899178 | |

Tabel 10. Hasil perhitungan RMSE vertikal

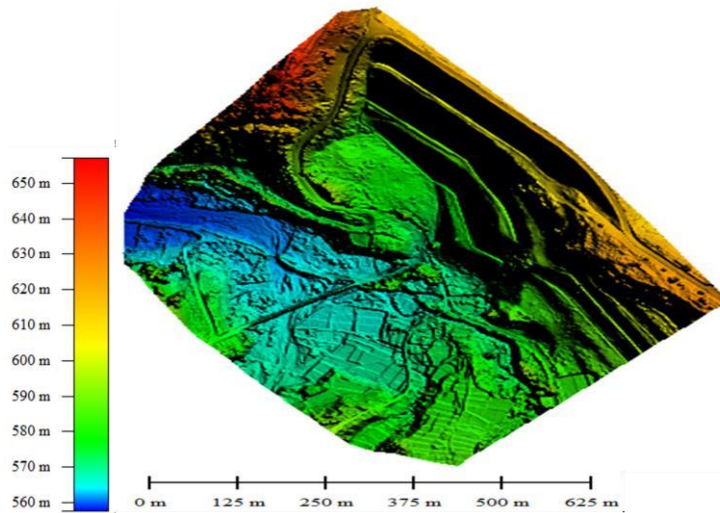
| Point ID | Koordinat DSM (m) | | Koordinat ICP (m) | | Residual errors (m) | |
|--|-------------------|---|-------------------|---|---------------------|--|
| | z | z | z | z | Δz^2 | |
| ICP_1 | 608.7637269 | | 609.2274 | | 0.21499276 | |
| ICP_2 | 611.0337517 | | 611.30125 | | 0.071555323 | |
| ICP_3 | 603.8256142 | | 603.9826 | | 0.024644548 | |
| ICP_4 | 613.3014706 | | 614.416 | | 1.242175884 | |
| ICP_5 | 591.3215848 | | 591.2675 | | 0.002925171 | |
| | | | | | | |
| ICP_25 | 559.5830364 | | 559.589 | | 3.55647E-05 | |
| Number check point | | | | | 25 | |
| Total (m) | | | | | 2.768798384 | |
| Mean (m) | | | | | 0.110751935 | |
| Rmsez (m) | | | | | 0.332794134 | |
| NSSDA vertical accuracy 95% confidence level (m) | | | | | 0.652276502 | |

Berdasarkan hasil perhitungan uji validasi statistik, diperoleh hasil selisih elevasi, dan RMSE_z paling kecil terdapat pada Tabel 12 dibandingkan dengan Tabel 11. Dapat disimpulkan DTM hasil pengolahan *software* PCI Geomatica metode semi-otomatis *filtering* lebih presisi dan akurat dibandingkan dengan DTM hasil pengolahan *software* SAGA GIS metode otomatis *filtering*, karena memiliki elevasi yang kurang lebih sama dengan daerah sebenarnya dilapangan dalam hal ini data *spotheight*.

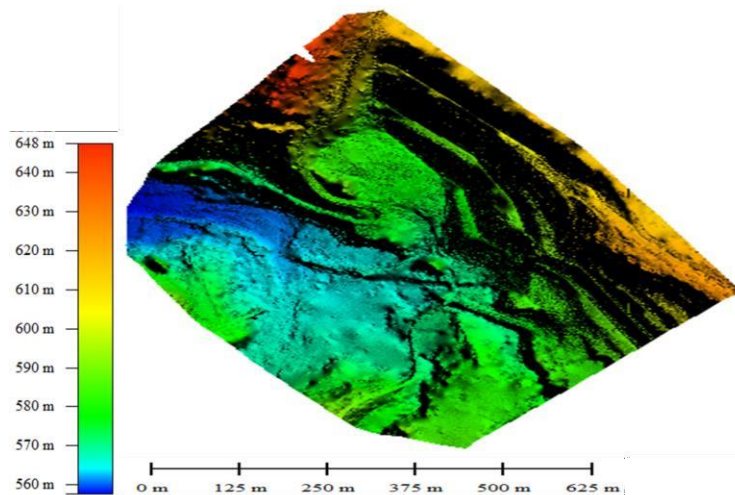
3.5.2. Uji Validasi Non-Statistik (Visual)

Pengolahan ini dilakukan dengan cara membandingkan tampilan atau visual DTM hasil pengolahan *software* SAGA GIS metode otomatis *filtering* dan DTM hasil pengolahan *Software* PCI Geomatica metode semi-otomatis *filtering*, dengan DTM *Spotheight* Topografi hasil pengolahan menggunakan sebuah *software* pemetaan. Uji visual DTM ini menggunakan metode profil melintang yang bertujuan untuk mengetahui beda tinggi atau tinggi rendahnya tanah sepanjang garis melintang yang dijadikan sampel area dalam pengujian ini. Area yang dipilih adalah area yang memiliki elevasi bervariasi, mencakup area DAS, dan perbukitan.

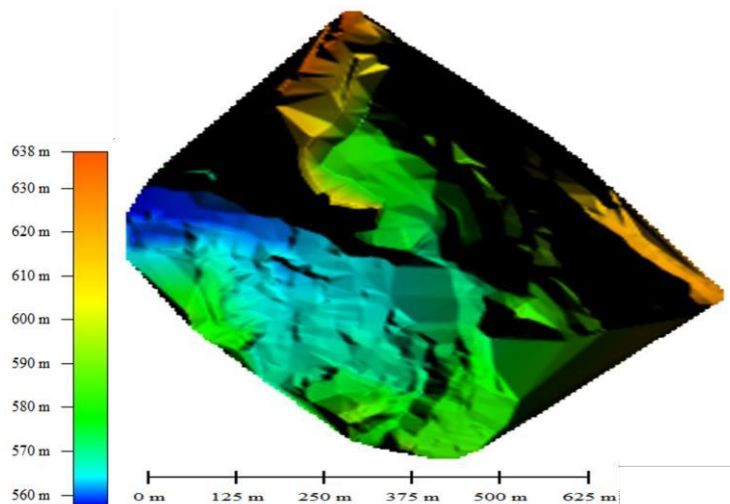
Uji perbandingan visual profil melintang DTM, dilakukan pada daerah yang samayaitu dengan membuat garis melintang yang diawali dari posisi titik A (X:649154.526, Y:9129259.314) ke posisi titik B (X:649433.864, Y:9128973.079) sampel area ini dipilih karena merupakan area yang memiliki elevasi yang bervariasi dikarenakan mencakup area DAS dan perbukitan dengan Panjang profil melintang 400 m, seperti tersaji pada Gambar 15 dan 16.



Gambar 12. Hasil DTM dari *software* SAGA GIS metode otomatis *Filtering*



Gambar 13. Hasil DTM dari *software* PCI geomatics metode semi-otomatis *Filtering*



Gambar 14. Hasil DTM *spotheight* topografi

Perbedaan elevasi paling besar terdapat pada titik 1 yaitu pada jarak 50 m dari arah posisi titik A. Selisih elevasi sekitar 1 m dilihat dari elevasi DTM hasil *software* SAGA GIS metode otomatis *filtering* DTM sebesar 564 m terhadap elevasi DTM *spotheight* topografi sebesar 563 m. Titik 2 pada jarak 200 m dari arah posisi titik A dengan selisih elevasi sekitar 5 m dilihat dari elevasi DTM hasil

software SAGA GIS metode otomatis *filtering* DTM sebesar 570 m terhadap elevasi DTM *spotheight* topografi sebesar 565 m (Gambar 15). Jika dibandingkan dengan perbedaan elevasi terbesar pada Gambar 15, untuk Gambar 16 diposisi yang sama di titik 1. Jarak 50 m dari arah posisi titik A, selisih elevasi sekitar 0.5 m dilihat dari elevasi DTM hasil *software* PCI Geomatica metode semi-otomatis *filtering* sebesar 563.5 m terhadap elevasi DTM *spotheight* topografi sebesar 563 m. Titik 2 pada jarak 200 m dari arah posisi titik A dengan selisih elevasi sekitar 0.5 m dilihat dari elevasi DTM hasil *software* PCI Geomatica metode semi-otomatis *filtering* sebesar 565.5 m terhadap elevasi DTM *spotheight* topografi sebesar 565 m.

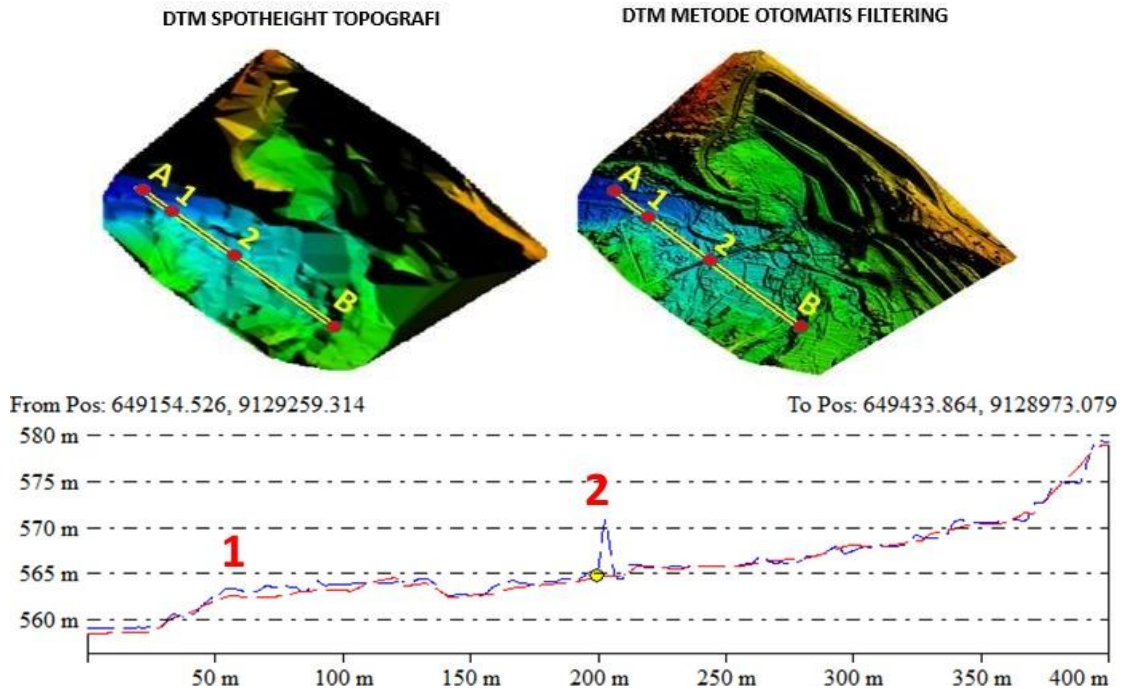
Berdasarkan hasil uji validasi non-statistik (visual) diperoleh selisih elevasi, paling kecil terdapat pada Gambar 16 dibandingkan dengan Gambar 15. Hal tersebut disebabkan pengolahan DTM menggunakan SAGA GIS metode otomatis *filetering*, masih meninggalkan unsur vegetasi atau penapisan yang kurang halus, sehingga objek yang harusnya dihilangkan teridentifikasi sebagai bentuk ground sehingga tidak dihilangkan. Pengolahan DTM menggunakan PCI Geomatica metode semi-otomatis *filtering* penapisannya lebih halus, sehingga lebih menyerupai bentuk *ground* pada daerah sebenarnya yaitu dalam hal ini DTM *spotheight* topografi.

Tabel 11. Hasil selisih elevasi dan RMSEz DTM hasil pengolahan *software* SAGA GIS metode otomatis *filtering* terhadap data *spotheight*

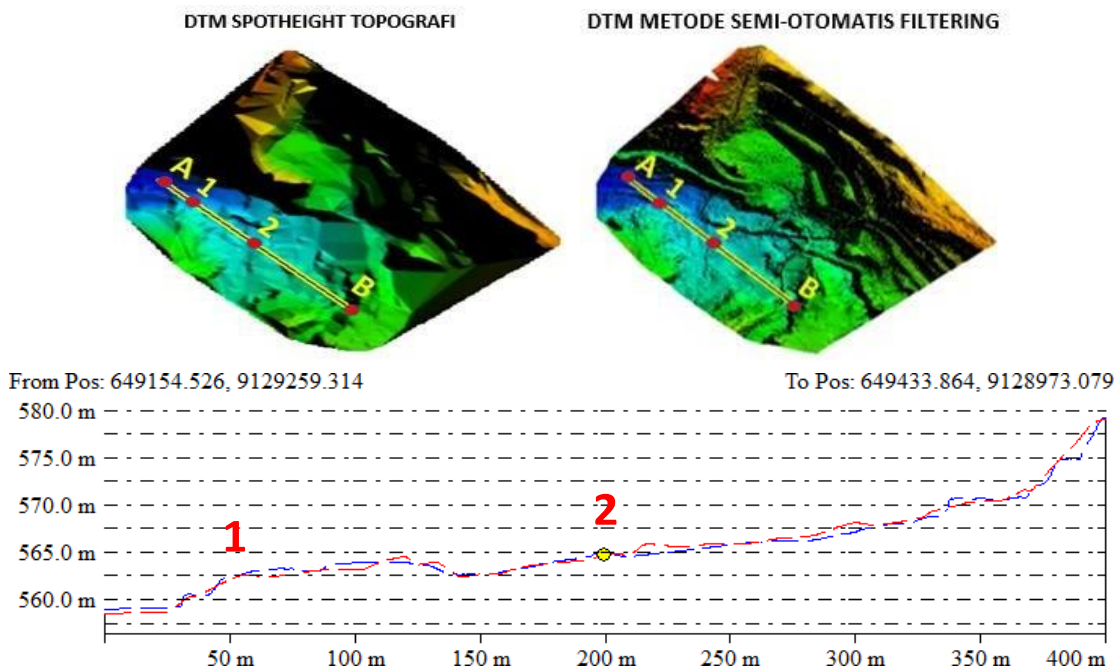
| No | Point ID | Koordinat DTM | | Selisih elevasi (m) | Residual errors (m) |
|------------------------|----------|---------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
| | | Spotheight | Software metode pengolahan otomatis | | |
| | | Z (m) | Z (m) | | |
| 1 | DTL | 606.1441294 | 605.6616569 | 0.482472451 | 0.232779666 |
| 2 | DTL | 608.4272534 | 608.0204625 | 0.406790886 | 0.165478825 |
| 3 | DTL | 612.5202772 | 611.637006 | 0.883271203 | 0.780168018 |
| 4 | DTL | 608.582518 | 608.523099 | 0.059418989 | 0.003530616 |
| 5 | DTL | 611.7284916 | 611.3750265 | 0.353465093 | 0.124937572 |
| ... | ... | ... | ... | | |
| 1454 | DTL | 610.0034244 | 586.2614672 | 23.74195717 | 563.6805305 |
| Jumlah titik referensi | | | | 1454 | |
| Total | | | | 1929.460711 | 22807.93035 |
| Mean | | | | 1.327001865 | 15.68633449 |
| RMSEz | | | | | 3.960597745 |

Tabel 12. Hasil selisih elevasi dan RMSEz DTM hasil pengolahan *software* PCI geomatica metode semi-otomatis *filtering* terhadap data *Spotheight*

| No | Point ID | Koordinat DTM | | Selisih elevasi (m) | Residual errors (m) |
|------------------------|----------|---------------|--|---------------------|---------------------|
| | | Spotheight | Software metode pengolahan semi-otomatis | | |
| | | Z (m) | Z (m) | | |
| 1 | DTL | 606.1441294 | 605.9633231 | 0.18080628 | 0.032690911 |
| 2 | DTL | 608.4272534 | 608.2515653 | 0.175688093 | 0.030866306 |
| 3 | DTL | 612.5202772 | 612.3467067 | 0.173570478 | 0.030126711 |
| 4 | DTL | 608.582518 | 608.1889299 | 0.39358806 | 0.154911561 |
| 5 | DTL | 611.7284916 | 611.6596277 | 0.068863897 | 0.004742236 |
| ... | ... | ... | ... | | |
| 1454 | DTL | 610.0034244 | 583.8506185 | 26.1528059 | 683.9692564 |
| Jumlah titik referensi | | | | 1454 | |
| Total | | | | 1816.965467 | 18244.79859 |
| Mean | | | | 1.249632371 | 12.54800453 |
| RMSEz | | | | | 3.542316267 |



Gambar 15. Perbandingan visual profil melintang DTM hasil pengolahan dari *software* SAGA GIS metode otomatis *filtering* (garis putus-putus warna biru) dengan DTM *spotheight* topografi (garis putus-putus warna merah)



Gambar 16. Perbandingan visual profil melintang DTM hasil pengolahan dari *software* PCI Geomatica metode semi-otomatis *filtering* (garis putus-putus warna biru) dengan DTM *spotheight* topografi (garis putus-putus warna merah)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis perbandingan akurasi DTM hasil dari pengolahan 2 *software* metode berbeda, didapatkan DTM hasil dari *Software* PCI Geomatica dengan metode pengolahan semi-otomatis *filtering* memiliki kualitas yang lebih akurat dan presisi, dimana nilainya lebih mendekati data *spotheight* dibandingkan dengan DTM yang dihasilkan dari *software* SAGA GIS dengan

metode pengolahan otomatis *filtering*. Hal ini dibuktikan dengan Uji Validasi Statistik dan Uji Validasi Non-Statistik (Visual). Pada Uji Validasi Statistik untuk DTM hasil dari *software* PCI Geomatica mempunyai Selisih Elevasi sebesar 1.249 m dan RMSEz sebesar 3.542 m terhadap data *spotheight*, sedangkan DTM hasil dari *software* SAGA GIS mempunyai selisih Elevasi sebesar 1.327 m dan RMSEZ sebesar 3.960 m terhadap data *Spotheight*. Kemudian pada Uji Validasi Non-Statistik (Visual) dilakukan dengan menggunakan metode profil melintang. Perbandingan profil melintang berdasarkan sample yang telah dibuat, pada titik yang sama perbedaan ketinggian/elevasi terhadap DTM *Spotheight* paling kecil didapatkan dari DTM hasil dari *software* PCI Geomatica yaitu sebesar 0.5 m pada titik 1 dan pada titik 2 sebesar 0.5 m, sedangkan pada DTM hasil dari *software* SAGA GIS pada titik 1 sebesar 1 m dan pada titik nomor 2 sebesar 5 m.

5. REFERENSI

- ASPRS. (2015). Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. Photogrammetric Engineer and Remote Sensing, 81(3), A1-A26.
- BIG. (2020). Peraturan Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2020 Tentang Standar Pengumpulan Data Geospasial Dasar Untuk Pembuatan Peta Dasar Skala Besar.
- Duantari, N., & Cahyono, B. A. (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, 6(2), A699-A703
- Fauzan, M. R. M., Jupri., & Ridwana, R. (2021). Pengukuran Topografi Untuk Pembangunan Penampungan Air Bersih (Studi Kasus: Daerah Rajamandala, Kabupaten Bandung Barat). Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Geografi, 6(1), 35-48.
- Franstein K. J. B., Prasetyo, Y., & Sukmono, A. (2019). Analisis Akurasi DTM Hasil Ekstraksi Data Pemetaan Airborne Lidar Skala Besar Menggunakan Algoritma Cloth Simulation Filtering, Parameter-Free Ground Filtering Dan Simple Morphological Filtering Terhadap Slope Based Filtering. Jurnal Geodesi Undip, 8(4), 195-204.
- Harfan, A., Yudhatama, D., & Bachrodin, I. (2019). Pemanfaatan Metode Fotogrametri Untuk Pengukuran Garis Pantai Dan Identifikasi Objek-Objek Tematik Dengan Menggunakan Wahana UAV (Unmanned Aerial Vehicle) (Studi Kasus Pengukuran Garis Pantai Di Pangkalan TNI AL Pondok Dayung). Jurnal Chart Datum, 5(1), 71-84.
- Khomsin., Anjasmara, M. I., & Romadhon, R. (2019). Analisis Ketelitian Hasil Pengamatan GNSS Metode Radial Berdasarkan Lama Pengamatan Untuk Efisiensi Pengukuran Ground Control Point. Geoid Journal Of Geodesy And Geomatics, 15(1), 89-96.
- Martiana, N. D., Prasetyo, Y., & Wijaya, P. A. (2017). Analisis Akurasi DTM Terhadap Penggunaan Data Point Clouds Dari Foto Udara Dan LAS Lidar Berbasis Metode Penapisan Slope Based Filtering Dan Algoritma Macro Terrasolid. Jurnal Geodesi Undip, 6(1), 293-302.
- Muhammad, M., & Tahar, N. K. (2021). Comprehensive Analysis of UAV Flight Parameters for High Resolution Topographic Mapping. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 767, 1-6. doi:10.1088/1755-1315/767/1/012001.
- Pepe, M., Costantino, D., Alfio, S. V., Cartellino, E., & Voza, G. (2021). A Novel Method Based on Deep Learning, GIS and Geomatics Software for Building a 3D City Model from VHR Satellite Stereo Imagery. ISPRS International Journal Of Geo-Information, 10(697), 1-17.
- Putra, P. D. (2016). Pembuatan Peta Orthophoto Pemotretan Udara Dengan Fixed Lens Menggunakan Pesawat UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Skripsi. Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional, Malang.
- Riadi, S. (2015). Pembuatan Peta Topografi Skala Besar Secara Fotogrametris Dengan Memanfaatkan Foto Udara UAV Kamera Non-Metrik. Skripsi. Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional, Malang.
- Wirantiko, M., Handayani, H. H., & Cahyono, B. A. (2021). Studi Pembuatan DTM Menggunakan Metode Slope Based Filtering dan Grid Based Filtering (Studi Kasus: Kelurahan Wonokromo Dan Lontar, Kota Surabaya). Geoid Journal Of Geodesy And Geomatics, 16(1), 46-56.