

UJI AKURASI SLOPE GRADIENT DIGITAL TERRAIN MODEL HASIL PEMOTRETAN FOTO UDARA

(STUDI KASUS : KECAMATAN LOWOKWARU, KOTA MALANG)

Fransisca Dwi Agustina¹, Martinus Edwin Tjahjadi¹, Imam Zulham¹

¹Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang

e-mail : siscaagustina@lecturer.itn.ac.id

Abstrak. Penelitian ini mengkaji terkait uji akurasi *slope gradient* pada *Digital Terrain Model (DTM)* yang dihasilkan dari pemotretan foto udara, khususnya dengan menggunakan teknologi *drone*. Pemotretan foto udara dengan *drone* telah menjadi metode yang umum digunakan untuk tujuan pemetaan. Metode pemotretan teknologi *drone* memungkinkan pengambilan data fotogrametri dengan resolusi tinggi dan detail yang signifikan, namun penting untuk memvalidasi akurasi hasil pemodelan *DTM*, terutama terkait dengan parameter *slope gradient*. *Slope gradient* memiliki implikasi penting dalam pemodelan kemiringan lereng, analisis kestabilan lereng, dan perencanaan tata guna lahan. Penelitian ini melibatkan uji akurasi *DTM* dengan membandingkan nilai *slope gradient* dari model dengan nilai *slope* yang diukur secara langsung di lapangan. Metode yang digunakan yaitu pemrosesan data dari foto udara dan ekstraksi informasi dari kemiringan tanah. Data lapangan tersebut mencakup pengukuran kemiringan secara langsung pada titik-titik tertentu. Analisis statistik digunakan untuk membandingkan hasil dari *DTM* dengan data lapangan guna menguji tingkat akurasi. Berdasarkan hasil persentase kemiringan lereng memiliki pengaruh terhadap kestabilan lereng. Penggunaan informasi yang diperoleh dari data *DTM* yang dihasilkan dari foto udara dengan menerapkan proses *filtering* dapat dimanfaatkan untuk menganalisis *slope gradient* atau kemiringan lereng. Hal tersebut dapat dinyatakan dengan melihat nilai *RMSE* dari pengujian kelayakan sampel area, yang menunjukkan bahwa perbedaan keseluruhan area sampel adalah kurang dari 8%. Dalam standar yang telah ditetapkan perbedaan sebesar 8% masih dianggap sebagai area yang relatif datar. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang sejauh mana akurasi *slope gradient* dari *DTM* hasil pemotretan foto udara dan memiliki implikasi penting pada penggunaan foto udara dan teknologi pemetaan untuk analisis topografi dan perencanaan wilayah.

Kata Kunci: *Digital Terrain Model; Drone; Slope Gradient*

Abstract. This research examines *slope gradient* accuracy tests on *Digital Terrain Models (DTM)* resulting from aerial photography, especially using *drone* technology. Aerial photography with *drones* has become a commonly used method for mapping purposes. *Drone* technology shooting methods allow capturing photogrammetric data with high resolution and significant detail, but it is important to validate the accuracy of *DTM* modeling results, especially regarding the *slope gradient* parameters. *Slope gradient* has important implications in *slope* modeling, *slope* stability analysis, and land use planning. This research involves testing the accuracy of the *DTM* by comparing the *slope gradient* value from the model with the *slope* value measured directly in the field. The method used is processing data from aerial photos and extracting information from the *slope* of the land. The field data includes direct *slope* measurements at certain points. Statistical analysis is used to compare the results from *DTM* with field data to test the level of accuracy. Based on the results, the *slope* percentage has an influence on *slope* stability. The information obtained from *DTM* data produced from aerial photos through a *filtering* process can be used to analyze *slope* gradients. This can be confirmed by examining the *RMSE* value from the sample area feasibility test, which indicates that the variation in the overall sample area is less than 8%. According to the established standards, a difference of 8% is still considered relatively flat terrain. It is hoped that the results of this research will provide a better understanding of the extent of *slope gradient* accuracy of *DTM* results from aerial photography and have important implications for the use of aerial photography and mapping technology for topographic analysis and regional planning.

Keywords: *Digital Terrain Model; Drone; Slope Gradient*

PENDAHULUAN

Penggunaan teknologi pemotretan foto udara guna untuk pemetaan telah menjadi pilihan yang umum dalam memberikan data spasial yang detail dan luas. Salah satu hasil dari pemotretan foto udara yaitu *Digital Terrain Model (DTM)*. *Digital Terrain Model (DTM)* yang merupakan representasi digital dari permukaan bumi yang mencakup informasi mengenai elevasi atau ketinggian dari suatu wilayah (Zevenbergen & Thorne, 1987). *DTM* memungkinkan untuk melakukan analisis yang lebih detail terhadap karakteristik topografi, seperti *slope gradient* atau kemiringan lereng. Kemiringan lereng memiliki peran penting dalam pemahaman dan mitigasi risiko bencana alam, perencanaan tata guna lahan, dan manajemen sumber daya alam.

Kemiringan lereng menunjukkan sudut kemiringan dalam persen atau derajat. Misalnya, Dua titik yang berjarak horizontal 100 m dengan selisih tinggi 10 m membentuk kemiringan lereng 10%. Semakin curam kemiringan, semakin besar kecuraman dari permukaan, yang dapat menimbulkan peningkatan aliran permukaan. Pada saat kemiringan mencapai 100%, hal tersebut setara dengan kecuraman 45% yang tidak hanya meningkatkan jumlah aliran permukaan namun juga dapat mempercepat erosi tanah. Menurut (Sahara, 2014) jika kemiringan tanah menjadi dua kali lebih curam, erosi tanah di area yang sama dapat meningkat menjadi 2,0 – 2,5 kali lipat. Kemiringan yang lebih curam dan panjang akan meningkatkan kecepatan aliran permukaan serta volume air permukaan (Martono, 2004). Hal tersebut yang menyebabkan risiko kerusakan lahan oleh curah hujan, termasuk kemungkinan terjadinya longsor dan erosi lapisan tanah subur yang lebih tinggi.

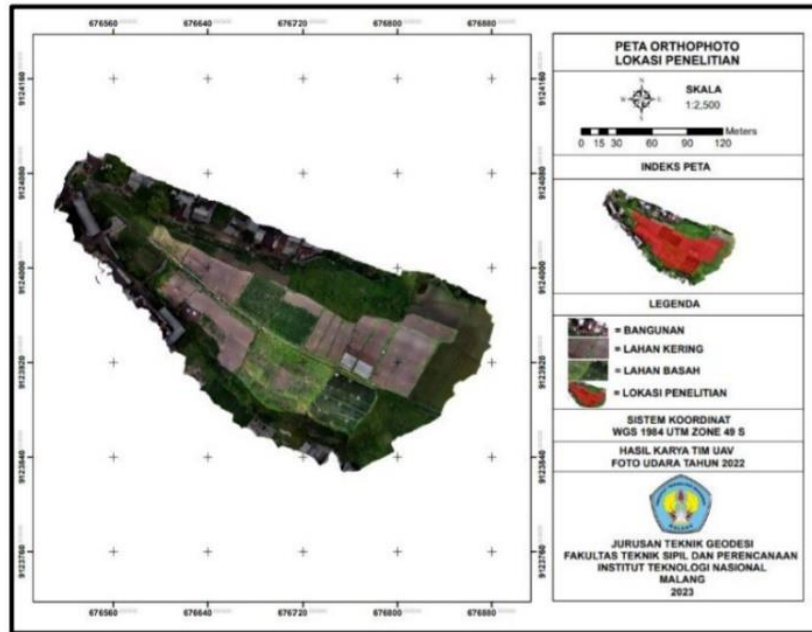
Slope gradient menunjukkan tingkat kemiringan atau kecuraman suatu permukaan, sementara *Digital Terrain Model (DTM)* merupakan representasi digital dari permukaan bumi yang meliputi detail topografi seperti elevasi tanah. Perbedaan antara keduanya adalah bahwa *DTM* mencakup informasi elevasi tanah secara umum, sedangkan *slope gradient* memberikan informasi spesifik tentang kemiringan atau lereng pada suatu lokasi (Wilson & Gallant, 2000). Pentingnya *slope gradient* dalam berbagai bidang ini menunjukkan bahwa akurasi *DTM* hasil pemotretan foto udara menjadi faktor kunci dalam membuktikan keakuratan hasil analisis kemiringan lereng. Adanya perbedaan antara nilai *slope gradient* yang dihasilkan oleh *DTM* foto udara dengan kondisi lapangan yang sebenarnya dapat mengakibatkan kesalahan interpretasi dan pengambilan keputusan yang kurang tepat.

Oleh karena itu, uji akurasi terhadap *slope gradient* pada *DTM* menjadi hal yang penting untuk memvalidasi kualitas dan ketepatan hasil pemetaan menggunakan fotogrametri.

METODOLOGI

1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di daerah Tunggulwulung, Kota Malang, Jawa Timur, pada koordinat geografis -7°55'32.722''LS 112°36'7.859''BT. Dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 1 ortofoto area penelitian, merupakan kenampakan area jembatan, tanah datar, dan berlereng (*slope*). Data yang diperlukan yaitu ortofoto dan data GPS dari hasil pengukuran terestrial untuk memvisualisasikan area penelitian sebenarnya.



Gambar 1. Ortofoto Area Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan menerapkan metode *grid*. Metode *grid* merupakan pendekatan dalam analisis spasial dalam bentuk kerangka *grid* (Longley & Rhind, 2015). Metode tersebut dilakukan dengan interpolasi volumetrik menggunakan kerangka *grid* atau jaringan untuk memproses dan menganalisis data spasial.

2. Pengambilan Data

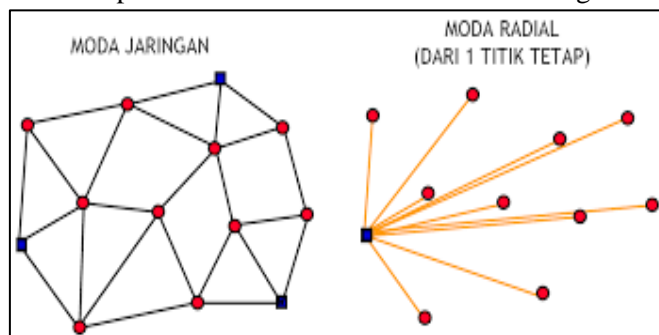
a. Pemotretan Foto Udara

Pemotretan fotogrametri yang dilakukan dengan menggunakan teknologi drone DJI Phantom 4 Pro. Tinggi terbang disesuaikan dengan peningkatan 70 meter untuk mencapai *Ground Sampling Sistance (GSD)* kurang dari 5 cm/piksel, berguna untuk meningkatkan akurasi ortofoto untuk interpretasi.

b. Survei *Global Positioning System (GPS)*

Pada penelitian ini pengambilan data *GCP* dan *ICP* pada foto udara adalah salah satu tahap penting dalam proses pemetaan. Pengambilan data *GCP* dan *ICP* dapat dilakukan menggunakan berbagai metode termasuk menggunakan perangkat *GPS*, pemetaan *GNSS*, atau *total station*.

Pada survei *GPS* dengan moda jaringan dan radial merupakan dua metode pendekatan yang umum digunakan dalam pemetaan pemrosesan data *GPS*. Moda jaringan melibatkan beberapa titik kontrol yang tersebar dalam satu jaringan saling terhubung dengan yang lain. Sementara itu, survei *GPS* moda radial fokus pada satu stasiun/ titik pusat yang mengumpulkan data dari jangkauan titik kontrol lainnya, ilustrasi gambar terlihat pada Gambar 2 survei *GPS* Moda Jaring dan Moda Radial.



Gambar 2. Survei *GPS* Moda Jaring dan Moda Radial

3. Metode Pembuatan *Digital Terrain Model (DTM)*

Digital Terrain Model (DTM) merupakan representasi digital yang memuat informasi elevasi dari permukaan bumi yang terbuka dan tidak dipengaruhi oleh vegetasi atau unsur buatan manusia lainnya, sedangkan *Digital Surface Model (DSM)* adalah representasi digital dari permukaan bumi yang mencakup semua objek atau fitur di atas permukaan, termasuk elemen buatan manusia seperti bangunan, pohon, dan struktur lainnya Wirantiko, M., Handayani, H. H. dan Cahyono, AB (2020). Perbedaan utama antara *DSM* dan *DTM* yaitu *DSM* mencakup semua objek di permukaan, termasuk elemen buatan manusia, sementara *DTM* hanya mencakup fitur topografi alami tanah tanpa elemen buatan manusia.

Berdasarkan hasil dari proses filtering *DSM* menghasilkan model permukaan bumi yaitu *DTM*. *DTM* yang telah melalui proses *filtering* dapat digunakan untuk melakukan klasifikasi wilayah penelitian berdasarkan kemiringan lereng dari pemotretan foto udara (Pratama Arbad, S. T. 2017).

4. Metode *Slope Gradient*

Slope gradient adalah sudut atau tingkat kemiringan dari suatu permukaan tanah, yang dapat dinyatakan dalam bentuk derajat atau persentase. Hal tersebut menunjukkan tingkat kemiringan dari permukaan tersebut.

Dalam proses analisa *slope gradient* hal yang terlebih dahulu ditentukan yaitu nilai kemiringan lereng. Faktor kemiringan lereng dihitung dengan memanfaatkan nilai *slope/W* untuk kemiringan lereng 40°, 45°, 50°, 55° dan 60°, data tersebut menunjukkan beberapa metode dan hasil perhitungan (Munir, A. P. 2018).

Pada umumnya lereng merupakan ukuran kemiringan suatu nilai relatif terhadap permukaan datar dan biasanya dinyatakan dalam persentase. Kemiringan lereng, panjang lereng, dan karakteristik lereng mempengaruhi laju erosi dan limpasan. Algoritma perhitungan menurut (SAPIANEM, hal. 2020) :

$$\text{Kemiringan } x - y = \frac{x-y \text{ beda tinggi}}{\text{jarak medan}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Presentase Kelerengan (\%)} = \frac{h}{r} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Derajat Kelerengan (}^\circ\text{)} = \frac{\text{arc tan } h}{r} \times 57.29578 \quad (3)$$

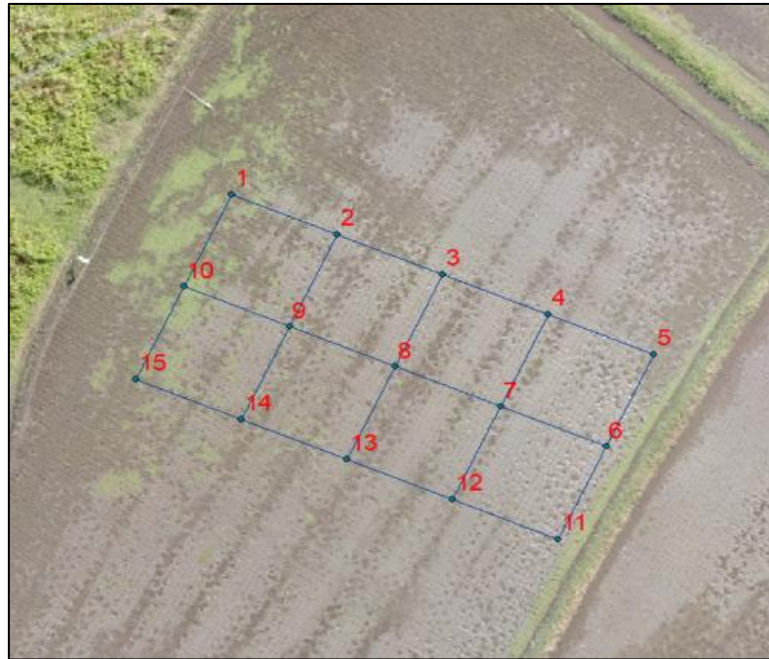
Keterangan :

h : Elevasi (m)

r : Jarak datar (m)



Gambar 3. Area Kelerengan Curam (Tinggi)



Gambar 4. Area Kelerangan Landai (Sedang)



Gambar 5. Area Kelerangan Landai (Rendah)

5. Perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE)

Menurut Putra (2016), terdapat metode alternatif untuk mengevaluasi metode peramalan yang disebut *RMSE*, dapat mengukur tingkat akurasi hasil peramalan model. *RMSE* (*Root Mean Square Error*) juga dapat menunjukkan seberapa besar kesalahan yang dihasilkan oleh model peramalan. Nilai *RMSE* yang rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh model prediksi hampir sama dengan variasi nilai yang diamati. *RMSE* horizontal dihitung menggunakan nilai *RMSE_x* dan *RMSE_y*, sedangkan *RMSE* vertikal diukur dengan nilai *RMSE_z*. Nilai *RMSE* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Putra, 2016).

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

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum (y_{data,i} - y_{cek,i})^2}{n}} \quad (5)$$

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{\sum (x_{data,i} - x_{cek,i})^2 + (y_{data,i} - y_{cek,i})^2}{n}} \quad (6)$$

$$RMSE_z = \sqrt{(RMSE_x)^2 + (RMSE_y)^2} \quad (7)$$

Nilai *RMSE* untuk komponen vertikal dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum (z_{data,i} - z_{cek,i})^2}{n}} \quad (8)$$

Keterangan :

RMSE_x : Nilai *Root Mean Square Error* x

RMSE_y : Nilai *Root Mean Square Error* y

RMSE_z : Nilai *Root Mean Square Error* z

RMSE_r : Nilai *Root Mean Square Error* untuk Komponen Horizontal (r)

RMSE_z : Nilai *Root Mean Square Error* untuk Komponen Vertikal (z)

Z_{cek} : Nilai Elevasi pada Pengukuran Lapangan

Z_{data} : Nilai Elevasi pada DEM

n : Jumlah Titik Sampel

HASIL DAN PEMBAHASAN

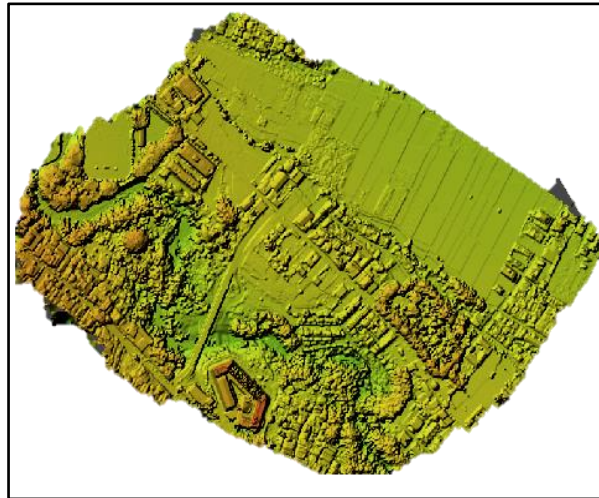
1. Ortofoto dan *Digital Surface Model* (DSM)

Ortofoto yang dihasilkan merupakan sekumpulan foto yang telah diolah secara fotogrametri untuk menghilangkan adanya distorsi geometris, sehingga dapat memberikan representasi peta yang akurat dari permukaan bumi. Pada hasil ortofoto yang tersaji pada Gambar 6 dapat memberikan informasi detail terkait dengan topografi dan fitur permukaan seperti bangunan, jalan, sungai, dan vegetasi.



Gambar 6. Ortofoto

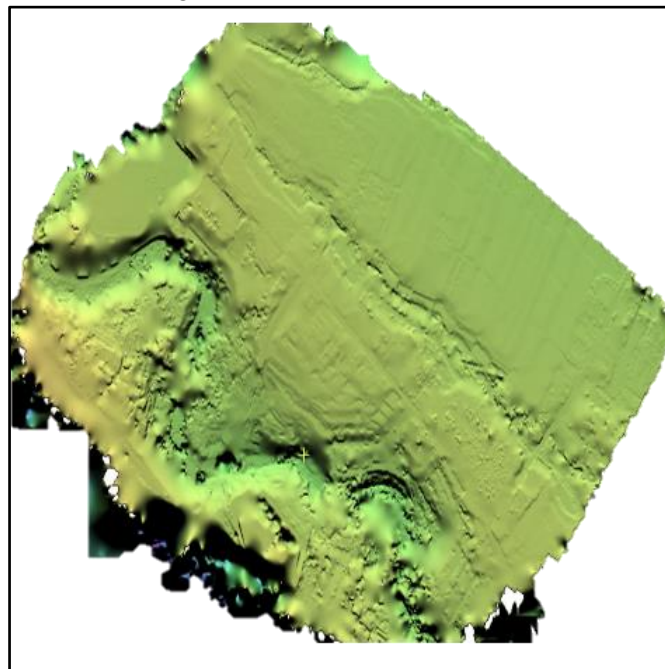
Hasil pengolahan foto udara selain ortofoto yaitu *DSM*. *DSM* merupakan representasi digital dari permukaan bumi, termasuk fitur-fitur seperti bangunan, vegetasi, dan objek lainnya. Data ortofoto dan *DSM* digunakan dalam pembuatan data *DTM* melalui proses filtering.



Gambar 7. *Digital Surface Model*

2. Pengolahan *Filtering DTM*

Pada umumnya filtering *DTM* merupakan proses penghilangan atau pengurangan noise atau ketidakpastian pada data elevasi untuk meningkatkan akurasi representasi terhadap permukaan bumi (Hengl & Evans, 2009). Pengolahan filtering *DTM* merupakan langkah penting dalam pemrosesan data topografi untuk dapat menghasilkan representasi yang akurat pada permukaan tanah. Pada umumnya hasil dari pemrosesan fotogrametri yang dikenal sebagai *DSM* mencakup unsur-unsur vegetasi seperti pohon, bangunan, dan jalan. Oleh karena itu, diperlukan proses filtering atau penyaringan. Filtering tersebut bertujuan untuk menghilangkan unsur-unsur vegetasi agar dapat menghasilkan *DTM* yang hanya memuat unsur non-vegetasi ilustrasi gambar pada Gambar 8 hasil filtering *DTM*.



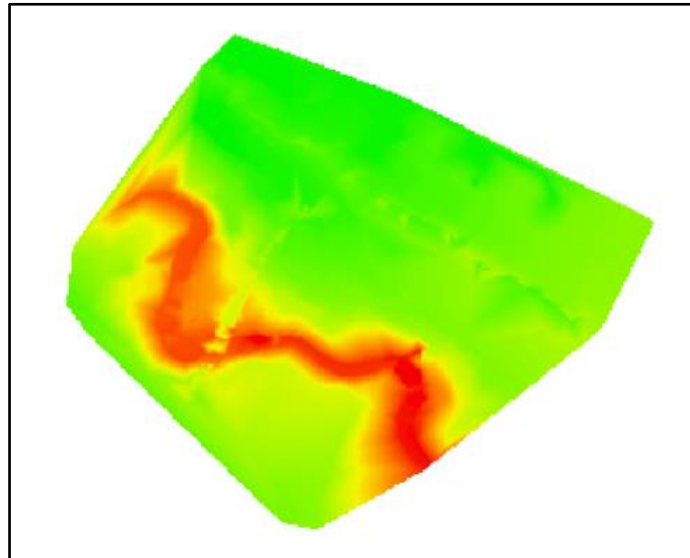
Gambar 8. Hasil Filtering *Digital Terrain Model*

3. Hasil *DTM Spot Height*

DTM spot height merujuk pada representasi digital dari elevasi tanah sesuai dengan lokasi yang sebenarnya (Peucker & Douglas, 1975). *DTM spot height* merupakan *DTM* yang melalui proses filtering memiliki ground

sebenarnya di lapangan. Data *spot height* dihasilkan dari analisis foto udara dengan menggunakan nilai elevasi yang diketahui dari titik-titik validasi.

Pada hasil *DTM Spot Height* penelitian dapat dilihat pada Gambar 9 *DTM Spot Height*, terlihat pada gambar memiliki tingkatan warna yang berbeda di kelaskan sesuai dengan elevasi tanah yang diukur sesuai dengan kondisi lapangan dengan survei GPS.



Gambar 9. *DTM Spot Height*

4. Uji Validasi

Persentase kemiringan dari data DTM dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

Kemiringan $x-y = \text{beda tinggi } x-y/\text{jarak di lapangan } \times 100$, dan hasil perhitungan *slope* tersebut menunjukkan kemiringan lereng. Uji validasi dilakukan dengan membandingkan hasil *slope* foto udara dengan *DTM Spot Height*, dan dilakukan pada 3 kelas yaitu kelas keterlerengan rendah, sedang, dan tinggi.

Pengujian tersebut dapat dievaluasi melalui nilai *RMSE* total yang diperoleh dari setiap kelas *slope*. Hal tersebut dilakukan guna untuk menilai seberapa akurat nilai kemiringan dari *DTM* foto udara yang dihasilkan menggunakan metode otomatis filtering dan semi-otomatis filtering terhadap data *spotheight* yang diukur menggunakan *GPS* Geodetik .

Tabel 1. Hasil *RMSE* Kelas *Slope* Tinggi

Id	POINT_X (m)	POINT_Y (m)	Z (m) (Spot Height)	Z (m) (Slope Foto Udara)	ΔZ^2 (m)
1	676608,4506	9123552,553	548,0933597	547,4227844	0,449671
2	676613,3813	9123551,756	550,0818381	549,7338913	0,121067
3	676618,3116	9123550,958	552,8044888	551,9300633	0,76462
4	676623,242	9123550,16	554,9468627	553,4199059	2,331597
5	676622,3246	9123545,246	556,4149815	556,5766678	0,026142
6	676617,394	9123546,042	556,167294	555,0071117	1,346023
7	676612,4638	9123546,842	554,5789093	552,5645017	4,057838
8	676607,5334	9123547,64	551,5126497	549,987239	2,326878
9	676606,616	9123542,726	554,6366631	552,631804	4,01946
10	676611,5463	9123541,927	557,2869056	555,0996905	4,78391
11	676616,4767	9123541,129	557,2827725	556,9986202	0,341234
12	676621,4071	9123540,331	557,2925851	557,5306887	0,056693
$\Sigma \Delta Z^2 =$					20,6
RMSE Z =					1,30

Tabel 2. Hasil *RMSE* Kelas *Slope* Sedang

Id	POINT_X (m)	POINT_Y (m)	Z (m) (Spot Height)	Z (m) (Slope Foto Udara)	ΔZ^2 (m)
1	676710,631	9123655,374	566,038	565,5621	0,476
2	676714,305	9123651,985	565,992	565,4812	0,511
3	676717,978	9123648,593	565,951	565,3964	0,554
4	676721,652	9123645,201	565,909	565,3323	0,577
5	676718,21	9123641,577	564,983	564,6829	0,300
6	676714,535	9123644,968	565,296	564,6528	0,644
7	676710,861	9123648,359	565,333	564,9812	0,352
8	676707,186	9123651,751	565,105	564,723	0,382
9	676703,74	9123648,127	564,026	563,3355	0,691
10	676707,417	9123644,734	563,970	563,2332	0,737
11	676711,091	9123641,344	563,866	563,2318	0,634
12	676714,764	9123637,954	563,334	563,0447	0,289
13	676711,319	9123634,331	561,760	561,9034	-0,143
14	676707,646	9123637,717	562,034	561,9952	0,039
15	676703,972	9123641,109	562,411	562,264	0,147
16	676700,298	9123644,501	562,500	562,2843	0,215
$\Sigma \Delta Z^2 =$					6,4
RMSE Z =					0,63

Tabel 3. Hasil *RMSE* Kelas *Slope* Rendah

Id	POINT_X (m)	POINT_Y (m)	Z (m) (Spot Height)	Z (m) (Slope Foto Udara)	ΔZ^2 (m)
1	676853,2	9123844	570,9182	571,1376	0,219366
2	676857,8	9123842	570,8123	571,1376	0,325244
3	676862,4	9123840	570,7066	571,1371	0,430472
4	676867	9123838	570,6008	571,1063	0,505495
5	676871,6	9123836	570,5952	570,9522	0,356991
6	676869,5	9123831	570,5859	570,8407	0,254773
7	676864,9	9123833	570,679	571,0673	0,388229
8	676860,3	9123835	570,7847	571,1376	0,352825
9	676855,7	9123837	570,8905	571,1454	0,254868
10	676851,1	9123839	570,9878	571,1454	0,15756
11	676867,5	9123827	570,6646	570,898	0,233373
12	676862,8	9123829	570,7572	571,1298	0,37259
13	676858,2	9123831	570,863	571,1373	0,274373
14	676853,6	9123833	570,9614	571,1454	0,184008
15	676849	9123835	571,018	571,1476	0,129527
$\Sigma \Delta Z^2 =$					8,88
RMSE Z =					0,77

Tabel 4. Kelas *Slope* berdasarkan Persentase Kemiringan

No	Kelas Slope	%Kemiringan (Slope Spotheight)	%Kemiringan (Slope Foto Udara)
1	Slope Tinggi	51,68%	56,79%
2	Slope Sedang	20,37%	17,42%
3	Slope Rendah	2,09%	1,48%

Berdasarkan hasil uji validasi terhadap hasil *DTM Spot Height* dengan hasil *slope*, yaitu hasil pada kelas *kelerengan tinggi* dengan tingkat persentase kemiringan 51,68 % nilai *RMSE* yang diperoleh 1,3 meter, sedangkan pada kelas *kelerengan sedang* dengan tingkat persentase kemiringan 20,37 % nilai *RMSE* yang diperoleh 0,63 meter, dan pada kelas kemiringan rendah dengan tingkat persentase kemiringan 2,09 % nilai *RMSE* yang diperoleh 0,77 meter. Hasil tersebut menunjukkan bahwa hasil uji akurasi pada *slope gradient DTM* dengan tingkat persentase kemiringan *slope* sekitar 2,09 % - 20,37 % masuk pada standar ketelitian *RMSE* dibawah 1 m. Sedangkan dengan tingkat persentase kemiringan *slope* sekitar 50 % ketelitian *RMSE* yang diperoleh sekitar 1 m. Nilai *RMSE* rendah menunjukkan bahwa model tersebut memiliki tingkat presisi yang tinggi dalam memprediksi variabilitas nilai yang sesuai dengan data yang pengukuran sebenarnya

(Willmott & Matsuura. 2005). Hal tersebut menunjukkan bahwa data *Slope Gradient DTM* dapat digunakan pada tingkat persentase kemiringan cenderung datar.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil uji validasi yang diperoleh bahwa pemanfaatan data filtering *DTM* foto udara dapat digunakan untuk analisa *slope gradient* atau kemiringan lereng.

Hal tersebut terbukti dengan melihat hasil nilai *RMSE* dari uji validasi di area sampel, dimana seluruh area yang diklasifikasikan sebagai tingkat ketererangan tinggi, sedang, dan rendah menunjukkan perbedaan yang kurang dari 8%. Dalam standar yang telah ditetapkan, perbedaan sebesar 8% masih dianggap sebagai datar.

Saran

1. Penentuan tinggi terbang berpengaruh pada nilai GSD yang didapatkan guna untuk mendapatkan kenampakan permukaan yang lebih jelas.
2. Penggunaan dan penambahan titik kontrol sebagai titik georeferencing guna menghasilkan posisi geografis yang lebih presisi.
3. Penggunaan metode filtering yang digunakan mempengaruhi hasil dari *DTM slope*.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrizal, R., Ruspianda, R., & Pratiwi, R. (2022). PEMANFAATAN DRONE DJI PHANTOM 4 PRO DAN APLIKASI SIG (ArcGIS) UNTUK IDENTIFIKASI BATAS ADMINISTRASI WILAYAH DI KEC. KUANTAN TENGAH KABUPATEN KUANTAN SINGINGI. *JURNAL PERANGKAT LUNAK*, 4(3), 172-181.
- Fadilah, N., Arsyad, U. dan Soma, A.S. 2019. Analisis tingkat kerawanan tanah longsor menggunakan metode frekuensi rasio di Daerah Aliran Sungai Bialo. *Journal of Perennial* 15(1)
- Falkiya, I., & Harimurti, H. (2014). *Pengaruh Kemiringan Lereng Dan Lebar Pondasi Dengan Rasio D/b= 1 Terhadap Daya Dukung Pondasi Pada Pemodelan Fisik Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil* (Doctoral dissertation, Brawijaya University).
- Gunawan, M. I., Sugiarto, D., & Mardianto, I. (2020). Peningkatan Kinerja Akurasi prediksi penyakit diabetes mellitus menggunakan metode grid Search Pada algoritma logistic regression. *JEPIN (Jurnal Edukasi Dan Penelitian Informatika)*, 6(3), 280-284.
- Hariyanto, E. K. (2015). *PERBANDINGAN PENGGUNAAN SOFTWARE AGISOFT PHOTOSCAN DAN PCI GEOMATICA UNTUK PEMBUATAN ORTHOPHOTO DARI DATA UAV KAMERA NON-METRIK (Studi Kasus Desa Gading Kulon–Kecamatan Dau–Kabupaten Malang)* (Doctoral dissertation, ITN MALANG).
- Hengl, T., & Evans, I. S. (2009). Mathematical and digital models of the land surface. *Development in Soil Science* 33, 173-200.
- Jensen, J. R. (2007). *Remote Sensing of the Environment: An earth resource perspective*. 2nd Prentice-Hall series in Geographic Information Science, USA
- Kalay, D. E., Lopulissa, V. F., & Noya, Y. A. (2018). Analisis kemiringan lereng pantai dan distribusi sedimen pantai perairan Negeri Waai Kecamatan Salahutu Provinsi Maluku. *TRITON: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 14(1), 10-18.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic information science and systems*. John Wiley & Sons.
- Munir, A. S. (2018). Kestabilan Lereng Menggunakan Program Slope/w pada Pit GN-10 Pulau Gag Kabupaten Raja Ampat Papua Barat. *Jurnal Geomine*, 6(3), 157-162.
- Pratama Arbad, S. T. 2017 Pemanfaatan Foto Udara Untuk Identifikasi Potensi Desa Berdasarkan Arah Fungsi Kawasan, Studi Kasus Dusun Iii, Desa Way Galih, Kecamatan Tanjung Bintang, Kabupaten Lampung Selatan.
- Purwanto, T. H. (2017). Pemanfaatan foto udara format kecil untuk ekstraksi digital elevation model dengan metode stereoplotting. *Majalah Geografi Indonesia*, 31(1), 73-89.

- SAPIANEM, S. (2020). *EVALUASI KESESUAIAN LAHAN UNTUK TANAMAN KAKAO (Theobroma cacao L.) DI DESA SUKADANAKECAMATAN BAYAN KABUPATEN LOMBOK UTARA* (Doctoral dissertation, Universitas_Muhammadiyah_Mataram).
- Suherlan, E., 2001. Zonasi Tingkat Kerentanan Banjir Kabupaten Bandung Menggunakan Sistem Informasi Geografis. Skripsi Fakultas MIPA Institut Pertanian Bogor.
- Syafri, S. H. (2015). Identifikasi Kemiringan Lereng Di Kawasan Permukiman Kota Manado Berbasis SIG. *Spasial*, 1(1), 70-79
- Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, 30(1), 79-82.
- Wilson, J. P., & Gallant, J. C. (2000). *Terrain analysis: principles and applications*. John Wiley & Sons.
- Wirantiko, M., Handayani, H. H., & Cahyono, A. B. (2020). Studi Pembuatan DTM Menggunakan Metode Slope Based Filtering dan Grid Based Filtering (Studi Kasus: Kelurahan Wonokromo Dan Lontar, Kota Surabaya). *Geoid*, 16(1), 46-56.
- Zevenbergen, L.W., & Thorne, C. R. (1987). Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12(1), 47-56.
