

PEMBUATAN PETA KEMIRINGAN LERENG MENGGUNAKAN DEM PRESISI FOTO UDARA UNTUK MITIGASI BENCANA LONGSOR Studi Kasus di Pandansari, Ngantang, Kabupaten Malang

Fransisca Dwi Agustina¹, Martinus Edwin Tjahjadi², Vikanisa Rahmadany³

¹⁾²⁾³⁾ Program Studi Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang¹

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Malang

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

ABSTRAK

Salah satu pemanfaatan teknologi *drone* yaitu dapat digunakan sebagai upaya mitigasi bencana longsor. Hasil pemotretan foto udara, selain ortofoto yaitu adanya data *DEM*. Pada dasarnya *DEM* (*Digital Elevation Model*) merupakan representasi digital dalam bidang tiga dimensi dari data ketinggian pada permukaan suatu area. Untuk menghasilkan data kelereng, maka dibutuhkan data dari ketinggian permukaan tanah atau elevasi *DEM/DTM* (Mahmudi dkk., 2015). Kualitas *DEM* mengacu pada presisi (ketepatan), reliabilitas (konsisten dalam pengukuran), dan akurasi data terukur. Ukuran presisi dapat dicapai dengan pengukuran fotogrametri dan tingkat presisi yang dihasilkan tergantung pada kualitas sumber data (foto udara). Sebuah *DEM* akan semakin presisi dan akurat dalam melakukan suatu pemodelan jika mempunyai hasil yang detail dan akurasi yang tepat (Sulistiana dkk., 2019).

Secara visual, perbedaan yang mendasar dari *DEM* non presisi dan *DEM* presisi yaitu pada *DEM* presisi memiliki bentuk permukaan yang menyerupai detail permukaan daerah yang sebenarnya, dan nilai elevasi yang didapatkan tidak mengalami perbedaan yang signifikan. Sedangkan *DEM* non presisi menurut *South Australian Government Data Directory*, tidak memiliki spesifikasi akurasi dan dibuat selama proses *aerotriangulasi* (metode penentuan koordinat titik-titik medan berdasarkan foto udara) berkualitas rendah menyebabkan presisi resolusi yang rendah.

Pada penelitian ini, peneliti memanfaatkan data *DEM* foto udara untuk diolah menjadi data *DEM* presisi guna pembuatan peta kemiringan lereng sesuai dengan kondisi daerah yang sebenarnya. Metode pengolahan *DEM* yang digunakan yaitu secara otomatisasi dengan menerapkan proses *filtering algorithm DSM2DTM* dan secara manual yaitu *filtering DEM editing*. Untuk memperoleh tingkat kelas kemiringan lereng maka perlu dilakukan analisa *slope* pada permukaan *DEM*.

Berdasarkan hasil pembuatan peta kemiringan lereng dari *DEM* presisi foto udara sesuai dengan standar ketelitian geometri peta dasar BIG No.15 Tahun 2014 (SNI 8022:2019) menunjukkan bahwa peta tersebut memenuhi pada skala 1:2500 di kelas 2 dan perbedaan antara nilai elevasi objek pada peta dengan nilai elevasi sebenarnya di lapangan lebih kecil dari jarak 1 meter. Hasil peta kemiringan lereng nantinya dapat digunakan sebagai parameter analisis longsor untuk mitigasi bencana.

Kata kunci: *DEM*, *DEM* Presisi, *DSM2DTM*, *Slope*

ABSTRACT

One of the uses of drone technology is that it can be used as an effort to mitigate landslides. The results of aerial photography, in addition to orthophoto, are *DEM* data. Basically *DEM* (*Digital Elevation Model*) is a digital representation in a three-dimensional plane of elevation data on the surface of an area. To produce slope data, data from ground level or *DEM/DTM* elevation is needed (Mahmudi et al., 2015). *DEM* quality refers to the precision (accuracy), reliability (consistency in measurement), and the accuracy of the measured data. Measuring precision can be achieved by photogrammetric measurements and the level of precision produced depends on the quality of the data source (aerial photography). A *DEM* will be more precise and accurate in doing a modeling if it has detailed and accurate results (Sulistiana et al., 2019).

Visually, the basic difference between non-precision *DEM* and precision *DEM* is that the precision *DEM* has a surface shape that resembles the actual surface detail, and the elevation value obtained does not experience a significant difference. Meanwhile, non-precision *DEM* according to the *South Australian Government Data Directory*, does not have accuracy specifications and is made during the *aerotriangulation* process (a method of determining the coordinates of field points based on aerial photographs) of low quality causing low resolution precision.

In this study, researchers used aerial photo *DEM* data to be processed into precision *DEM* data for making slope maps according to actual local conditions. The *DEM* processing method used is automated by applying the *DSM2DTM filtering algorithm* process and manually, namely *DEM editing filtering*. To obtain the grade level of the slope, it is necessary to do a slope analysis on the *DEM* surface.

Based on the results of making slope maps from DEM precision aerial photographs in accordance with the geometric accuracy standard of the BIG base map No. 15 of 2014 (SNI 8022: 2019) it shows that the map meets the 1:2500 scale in class 2 and the difference between the object elevation values in map where the actual elevation value on the ground is less than 1 meter away. The results of the slope map can later be used as a parameter for landslide analysis for disaster mitigation.

Keywords: DEM, Precision DEM, DSM2DTM, Slope

PENDAHULUAN

Seiring dengan munculnya di era industri 5.0, menuntut pada tiap bidang keilmuan memiliki perkembangan teknologi yang mutakhir, dan mudah diakses oleh pengguna. Salah satunya pada bidang keilmuan geodesi, memiliki teknologi yang berkembang dengan memanfaatkan teknologi drone untuk pengukuran fotogrametri. Pada penelitian ini dengan memanfaatkan teknologi drone digunakan sebagai upaya mitigasi bencana pada suatu kondisi wilayah yang sering terdampak longsor. Sebagai upaya mitigasi bencana longsor, hasil pengukuran fotogrametri digunakan sebagai informasi awal untuk dapat mendeteksi potensi bencana tersebut. Menurut (Tjahjadi dkk., 2015) hasil foto yang diperoleh melalui pemotretan udara, diolah dengan metode fotogrametri dan geodesi terpadu untuk menghasilkan data spasial. Dalam upaya memberikan informasi topografi, maka diperlukan proses untuk mendapatkan produk/ data 3 dimensi berkualitas tinggi, resolusi tinggi, dan presisi tinggi atau dapat disebut dengan model elevasi digital (DEM) (Zhang dkk., 2012). Pada dasarnya DEM menjadi salah satu persyaratan paling mendasar untuk berbagai macam analisis spasial dan masalah pemodelan dalam ilmu lingkungan (Pulighe dan Fava, 2017).

Produk yang di hasilkan dari pemotretan foto udara yaitu ortofoto dan DEM. Resolusi DEM menjadi salah satu kontributor paling signifikan untuk analisis kerentanan tanah longsor yang efektif dan dapat menghasilkan presisi yang tinggi (Chen dkk., 2020). Pembuatan peta kemiringan lereng memanfaatkan produk dari pemotretan foto yaitu DEM. Penggunaan titik kontrol tanah atau GCP yang ditambahkan ke dalam foto yang berkualitas tinggi juga berkontribusi dapat meningkatkan presisi DEM yang diperoleh (Jimenez et al., 2017 Dalam Galeana Pérez dkk., 2021). DEM yang dihasilkan dari foto udara umumnya masih meliputi data ketinggian unsur vegetasi beserta objek lain yang mendominasi dari permukaan bumi, maka perlu dilakukan proses filtering/penyaringan untuk menghasilkan DEM Presisi. Menurut (Geraldino Dadu Kerong dkk., 2022) DEM presisi dari foto udara dapat diperoleh dari metode *filtering* atau penyaringan yang dapat membedakan kelas titik ground dari titik non ground (vegetasi) secara otomatis dalam efisiensi tinggi, akan tetapi metode tersebut, terkadang mengalami kesulitan dalam mengelompokkan kelas-kelas yang terdapat pada permukaan DEM. Maka

berdasarkan masalah tersebut peneliti melakukan analisa *slope* untuk dapat mengelompokkan kelas-kelas sesuai dengan kondisi permukaan pada DEM. Pada penelitian ini, hasil peta kemiringan lereng nantinya dapat digunakan sebagai parameter pendukung untuk analisa mitigasi bencana longsor.

METODE

Lokasi Penelitian :

Lokasi penelitian bertempat di Desa Pandansari, Wilayah Kecamatan Ngantang, pada bagian barat Kabupaten Malang. Secara geografis koordinat lokal penelitian terletak pada koordinat 7°51'57.58" LS dan 112°21'39.68" BT, yang memiliki batas administrasi sebagai berikut :

1. Sebelah Utara : Desa Kaumrejo, Kecamatan Ngantang
2. Sebelah Selatan : Desa Banturejo, Kecamatan Ngantang
3. Sebelah Timur : Desa Banturejo, Kecamatan Ngantang
4. Sebelah Barat : Desa Pondok Agung, Kecamatan Kasembon



Gambar 1. Lokasi penelitian wilayah penelitian (sumber : produk ortofoto tim UAV 2021)

Alat dan Bahan :

Alat : Satu unit laptop Asus, Drone *Dji Phantom 4 Pro*, GPS Geodetik

Bahan : Foto udara, Data DEM, DEM Presisi, Data *Ground control point* (GCP)

Dasar Teori :

1. *Ground control point* (GCP)

Menurut (Yang dan Jiao, 2011) titik kontrol tanah merupakan sumber penting dari data penting pada

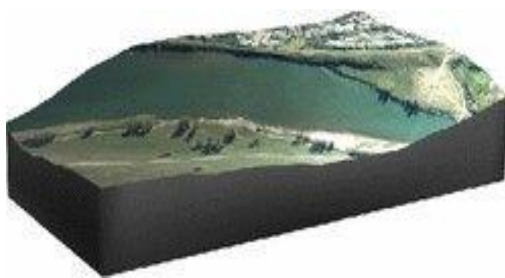
foto udara untuk koreksi geometris foto. Ketepatan koreksi geometrik tergantung pada kuantitas, akurasi dan distribusi titik GCP. Titik yang telah memiliki koordinat tanah tersebut dapat digunakan sebagai titik bantu untuk membuat sistem koordinat peta dan foto saling memiliki koneksi (Harintaka, 2008 dalam Husna dkk., 2018).



Gambar 2. Contoh GCP wilayah penelitian
 (sumber : tim UAV 2021)

2. DEM non presisi

DEM non presisi menurut *South Australian Government Data Directory* yaitu data DEM yang tidak memiliki spesifikasi akurasi dan dibuat selama proses *aerotriangulasi* (metode penentuan koordinat titik-titik medan berdasarkan foto udara). DEM yang dihasilkan dari data berkualitas rendah dapat menyebabkan presisi rendah. Data tersebut memiliki resolusi yang rendah (> 30 m), sehingga tidak dapat merepresentasi atau mencerminkan permukaan objek dengan detail (Samavati dan Runions, 2016).

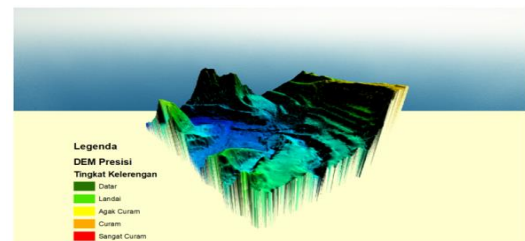


Gambar 3. Sungai yang terdistorsi akibat penggunaan DEM non Presisi
 (Sumber : Samavati dan Runions, 2016)

3. DEM Presisi

DEM presisi adalah sebuah data yang memiliki kualitas yang tepat, memiliki karakteristik resolusi data yang tinggi dari pemotretan UAV, sehingga hasil data yang diperoleh mencerminkan kondisi

faktual dari permukaan tanah (Tian dkk., 2019). DEM presisi dari foto udara dapat diperoleh dari metode filtering untuk dapat membedakan kelas titik ground dari titik non ground (vegetasi) secara otomatis dalam efisiensi tinggi, namun metode tersebut masih mengalami kesulitan untuk membedakan kelas-kelas yang berada pada permukaan DEM (Geraldino Dadu Kerong dkk., 2022). Maka hasil dari DEM Presisi foto udara perlu dilakukan *filtering* manual guna memperbaiki titik yang masih terdapat kesalahan dari hasil kelas filtering manual dan untuk meningkatkan akurasi DEM pada fitur non ground kompleks seperti jembatan, dan bangunan.



Gambar 4. Representasi Topografi DEM Presisi
 (Sumber : tim UAV, 2021)

4. Klasifikasi Kemiringan Lereng

Klasifikasi berfungsi sebagai pemisah antara *point clouds* yang dihasilkan dari refleksi antara masing-masing jenis objek, maupun refleksi yang dihasilkan dari bidang tanah (Sithole, 2005).

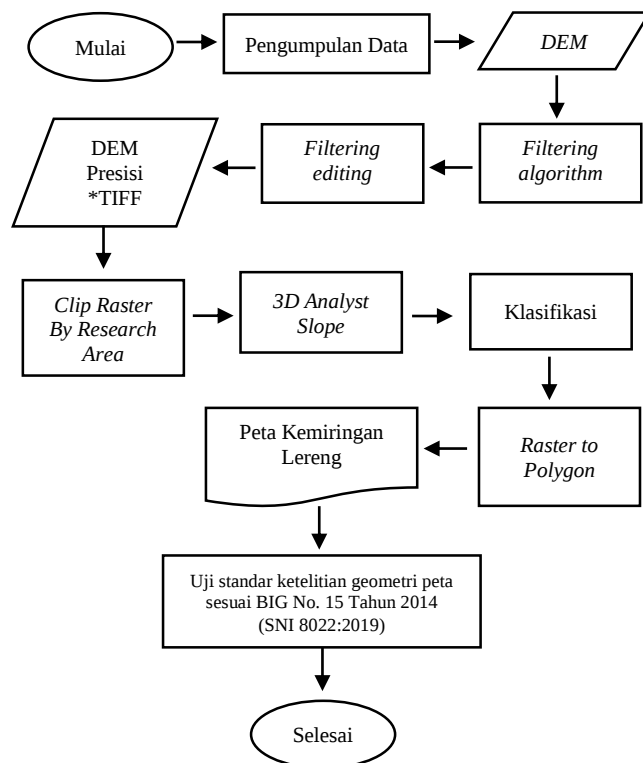
Klasifikasi pada kemiringan lereng diperoleh berdasarkan Tabel 1. Kemiringan suatu lahan atau lereng berpengaruh terhadap kestabilan lereng. Lereng yang memiliki kecuraman yang tinggi tidak dapat menahan beban sehingga akan berpotensi longsor (Amalia, 2019).

Tabel 1. Kelas kemiringan lereng

Parameter (%)	Skor	Keterangan
> 45	5	Sangat Curam
30 – 45	4	Curam
15 – 30	3	Agak Curam
8 – 15	2	Landai
< 8	1	Datar

Sumber : Puslittanak, 2004

Diagram Alir :

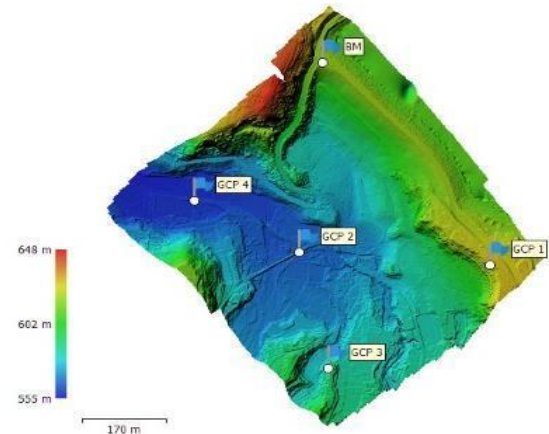


Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

Analisis Data :

1. Pengolahan DEM Presisi

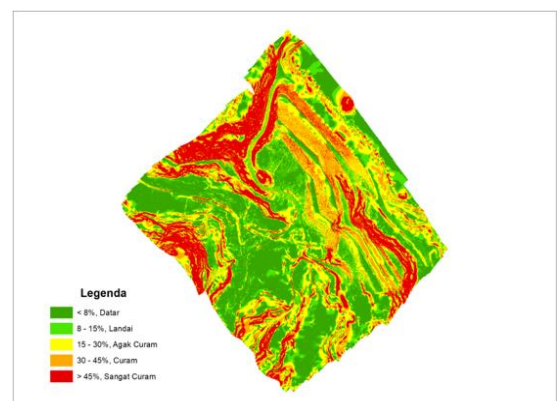
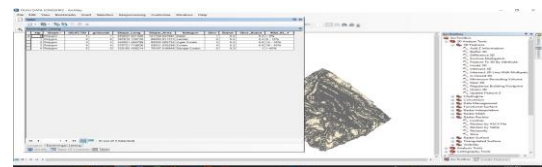
Perolehan nilai kelerengan dilakukan dengan melakukan analisa spasial yang dilakukan pada data ketinggian permukaan tanah atau elevasi *DEM/DTM* (Mahmudi et al., 2015), kemudian dilakukan klasifikasi *point clouds* untuk mengelompokkan objek-objek pada data *DEM* pada kelas-kelas dengan melakukan klasifikasi terhadap data *ground* dan *non ground point* (vegetasi) untuk dapat menghilangkan fitur non ground. Hasil klasifikasi *point clouds* di proses menggunakan perangkat lunak fotogrametri berlisensi. Namun hasil klasifikasi tersebut masih belum akurat atau masih terdapat unsur vegetasi di atas permukaan *DEM*, maka perlu dilakukan filtering atau penajaman spasial pada data *DEM* dengan menggunakan perangkat lunak fotogrametri dengan metode filtering *DEM*. Metode filtering yang dilakukan yaitu metode *manually* dengan fitur *editing tools* dan metode automasi dengan *DSM2DTM algorithm* untuk menghilangkan dan menghaluskan fitur vegetasi yang terdapat pada permukaan *DEM* (PCI Geomatics, 2014).



Gambar 6. Hasil DEM Klasifikasi Ground
 (Sumber : tim UAV, 2021)

2. Analisa slope dari DEM Presisi Foto Udara

DEM Presisi hasil dari proses *filtering* diproses dengan melakukan analisa spasial digital dengan fitur *3D Spatial Analyst*. Analisa kemiringan lereng yang digunakan untuk kemiringan lereng terhadap *DEM* presisi yaitu *Slope*. *Slope* merupakan nilai dari perubahan kemiringan/ketinggian. Daerah dengan nilai *slope* yang rendah, merupakan daerah datar, dan daerah dengan nilai *slope* tinggi merupakan daerah curam. *Output slope* dari objek raster dapat dihitung dalam derajat persen atau derajat *slope*. Pengolahan analisa *slope* dilakukan pada perangkat lunak *ArcGIS* menggunakan klasifikasi sesuai dengan Tabel 1 Kelas kemiringan lereng yang terbagi menjadi 5 kelas.



Gambar 7. Hasil Analisa *Slope* dari *DEM* Presisi
 (Sumber : tim UAV, 2021)

3. Uji Akurasi Vertikal Peta Kelerengan

Hasil dari *DEM* Presisi dilakukan uji akurasi vertikal dengan perhitungan RMSE (*root mean square error*). Nilai RMSE dihasilkan melalui selisih koordinat Z GCP model (foto) dengan koordinat Z GCP dari pengamatan GPS Geodetik (lapangan) kemudian dibagi sesuai dengan jumlah titik GCP yang digunakan (Persamaan 1). Jumlah titik ICP yang digunakan, disesuaikan dengan ketentuan dalam SNI 8202:2019, ketelitian peta dasar (BIG, 2020). Persamaan RMSE yang menggunakan standar dari Perka BIG Nomor 15 Tahun 2014 adalah sebagai berikut :

$$RMSE \text{ vertikal} = \sqrt{\frac{\sum ((z_{data} - z_{cek})^2)}{n}} \quad (1)$$

Keterangan :

n : Jumlah total dari seluruh titik cek pada peta
 z : Point koordinat pada sumbu z

Pengujian akurasi atau ketelitian geometri yang menggunakan standar oleh Perka BIG Nomor 15 Tahun 2014 tentang pedoman teknis ketelitian peta dasar diambil dari nilai RMSE. Pengujian tersebut dilakukan dengan cara melakukan perhitungan CE90 dan LE90 diperoleh dari *United States National Mapping Accuracy Standard* pada (Persamaan 2 dan 3).

$$CE90 = 1.5175 \times RMSEr \quad (2)$$

$$LE90 = 1.6499 \times RMSEz \quad (3)$$

Keterangan :

RMSE : Akar kuadrat dari nilai mean selisih antara nilai koordinat data (model) dan nilai koordinat dari data lapangan yang memiliki akurasi yang lebih tinggi.

RMSEr : *Root Mean Square Error* untuk posisi koordinat X dan Y (Horizontal)

RMSEz : *Root Mean Square Error* untuk posisi koordinat Z (Vertikal)

CE90 : Nilai ketelitian dengan tingkat kepercayaan 90% untuk posisi horizontal

LE90 : Nilai ketelitian dengan tingkat kepercayaan 90% untuk posisi vertikal

Tabel 2. Ketentuan Ketelitian Geometri Peta Dasar Berdasarkan Kelas

Ketelitian	Kelas 1	Kelas 2
Horizontal	0.3 mm x bilangan skala	0.9 mm x bilangan skala
Vertikal	0.5 x interval kontur	1 x interval kontur

Sumber : SNI 8202:2019

Tabel 3. Ketelitian Geometri Peta Dasar

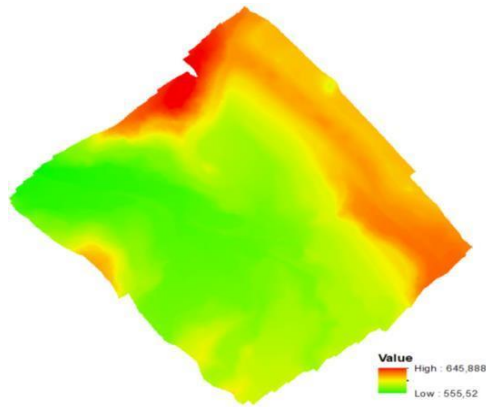
Skala	Interval Kontur (m)	Ketelitian Peta RBI (m)			
		Kelas 1		Kelas 2	
		Horizontal (CE90)	Vertikal (LE90)	Horizontal (CE90)	Vertikal (LE90)
1:2500	1	0,75	0,5	2,25	1
1:1000	0,4	0,3	0,2	0,9	0,4

Sumber : SNI 8202:2019

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. *DEM* Presisi

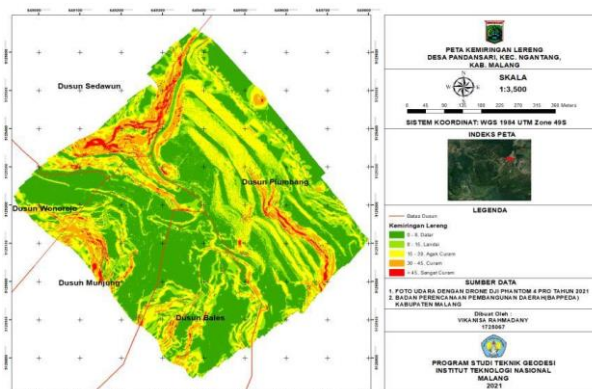
Hasil proses pembuatan *DEM* Presisi setelah melakukan proses filtering dengan metode *manually* dan automasi *DSM2DTM Algorithm* terlihat pada Gambar 3, secara visual hasil yang didapatkan sudah tidak tampak vegetasi (non-ground). Hasil penggunaan metode *manually* dapat digunakan sebagai pemindai permukaan dari hasil metode automasi, yang masih belum terfilter dengan baik. Pada metode manual dapat memberikan kontrol untuk proses konversi *DEM* dengan hasil yang presisi. Sedangkan pada metode otomatis melalui algoritma *DSM2DTM* menghasilkan *DEM* yang baik namun masih terlihat vegetasi maka diperlukan proses editing secara manual.



Gambar 8. Hasil DEM Presisi
 (Sumber : hasil pengolahan tim UAV, 2021)

2. Peta Kemiringan Lereng

Pada hasil analisis kelerengan, nilai kelerengan berdasarkan pada perbandingan antara jarak horizontal dan jarak vertikal. Penentuan nilai kelerengan ditentukan dari nilai piksel dari segala arah yang berada di dalam raster grid DEM (Mahmudi et al., 2015). Peta kemiringan lereng (Gambar 8) yang diperoleh dari analisa slope dengan DEM presisi pada software analisa spasial digital berlisensi terbagi menjadi 5 kelas dengan acuan (Puslittanak, 2004) dan ditentukan berdasarkan besar derajat kemiringannya.



Gambar 9. Peta kemiringan lereng hasil dari analisis DEM Presisi
 (Sumber : hasil pengolahan tim UAV, 2021)

Tabel 4. Parameter kemiringan lereng

No.	Nilai kelerengan	Kategori	Luas (Ha)	Persentase
1.	< 8%	Datar	12.135	29.33%
2.	8 - 15%	Landai	6.617	15.99%
3.	15 - 30%	Agak Curam	9.184	22.20%
4.	30 - 45%	Curam	5.839	14.11%
5.	> 45%	Sangat Curam	7.605	18.38%
Total			41.38	100%

3. Uji Validasi Peta

Perhitungan RMSE (z) diperoleh dari nilai selisih antara titik koordinat foto (model) dengan titik koordinat di lapangan dari nilai koordinat Z. Nilai dari hasil perhitungan RMSE(z) DEM presisi didapatkan senilai 0.5 meter dapat dilihat pada Tabel 6. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka didapatkan nilai LE90 sebesar 0.8 meter. Dapat disimpulkan sesuai Tabel 5, uji akurasi vertikal dengan tingkat kepercayaan 90% (LE90) untuk ketelitian peta dasar memenuhi pada skala 1:2500 di kelas 2 dengan ketelitian maksimum sebesar 1 meter dengan interval kontur 1 meter.

Tabel 5. Uji LE90 Berdasarkan Kelas BIG No. 15 Tahun 2014

Ketelitian	Hasil Uji LE90 (m)	Ketelitian Peta Skala 1:2500
		Kelas 2 (m)
Vertikal	0.8	1

Tabel 6. RMSE Ketelitian Geometri Vertikal (DEM)

Koordinat	Koordinat DEM (m)	Koordinat RTK GPS (m)	Residual Errors (m)
	Z	Z	dz ²
CP_1	608,205	609,227	1,05
CP_2	610,965	611.301	0,11
...	...	...	...
CP_..	559,082	559,590	0,26
RMSEz (m)			0,5

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan DEM presisi foto udara maka akuisisi data yang diperoleh dari proses filtering secara manual dan automasi DSM2DTM algorithm hasil RMSE(z) senilai 0.5 meter. Uji validasi pada peta kemiringan lereng hasil DEM Presisi berdasarkan standar ketelitian geometri peta dasar BIG No.15 Tahun 2014 (SNI 8022:2019) menunjukkan bahwa peta tersebut memenuhi pada skala 1:2500 di kelas 2 dan perbedaan antara nilai elevasi objek pada peta dengan nilai elevasi sebenarnya di lapangan lebih kecil dari jarak 1 meter. Hasil peta kemiringan lereng nantinya dapat digunakan sebagai parameter pendukung analisis longsor untuk mitigasi bencana.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima Kasih ditujukan kepada pihak-pihak yang membantu penulis dalam melakukan penelitian yaitu Kepala Desa Pandansari, Ngantang, Kabupaten Malang yang telah memberikan ijin sebagai lokasi pelaksanaan kegiatan penelitian dan Program Studi Teknik Geodesi ITN Malang.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, S. (2019). Pemanfaatan Sistem Informasi Geografi (SIG) Untuk Analisis Kerawanan Longsor Di Kecamatan Sibolangit.
- Chen, Z., Ye, F., Fu, W., Ke, Y., & Hong, H. (2020). The influence of DEM spatial resolution on landslide susceptibility mapping in the Baxie River basin, NW China. *Natural Hazards*, 101(3), 853–877. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03899-9>

- Geraldino Dadu Kerong, R., Edwin Tjahjadi, M., & Dwi Agustina, F. (2022). Kajian Perbandingan Akurasi DTM Pengolahan Data Foto Udara Menggunakan Metode Otomatis Dan Semi-Otomatis Filtering. *Jambura Geoscience Review*, 1(2), 68–76. <https://doi.org/10.34312/igeosrev.v4i1.12046>
- Galeana Pérez, V. M., Chávez Alegría, O., & Medellín Aguilar, G. (2021). On the measure of land subsidence throughout DEM and orthomosaics using GPS and UAV. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 22(1), 1–12. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.22.1.006>
- Mahmudi, Subiyanto, S., & Yuwono, B. D. (2015). Analisis Ketelitian Dem Aster Gdem, Srtm, Dan Lidar Untuk Identifikasi Area Pertanian Tebu Berdasarkan Parameter Kelerengan. *Fizioloichnyi zhurnal*, 20(3), 398–400.
- PCI Geomatics. (2014). Automatic DEM Extraction. 1–3.
- Pulighe, G., & Fava, F. (2017). Ekstraksi DEM dari arsip foto udara : penilaian akurasi di area topografi yang kompleks. 7254. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20134621>
- Puslittanak, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat 2004 Laporan Akhir Pengkajian Potensi Bencana Kekeringan, Banjir dan Longsor di Kawasan Satuan Wilayah Sungai Citarum-Ciliwung, Jawa Barat Bagian Barat Berbasis Sistem Informasi Geografi. Bogor.
- Samavati, F., & Runions, A. (2016). Interactive 3D content modeling for Digital Earth. *Visual Computer*, 32(10), 1293–1309. <https://doi.org/10.1007/s00371-016-1227-y>
- Sithole, G. (2005). Segmentation and Classification of Airborne Laser Scanner Data. *Nederlandse Commissie Voor Geodesie*, May, 184. <https://doi.org/10.1117/12.665451>.
- Sulistiana, T., Parapat, A. D., & Aristomo, D. (2019). Analisis akurasi vertikal digital elevation model nasional (Demnas) studi kasus Kota Medan. *FIT ISI 2019 dan ASEANFLAG 72nd COUNCIL MEETING Analisis*, 1(November 2019), 37–45.
- Tian, W., Zhao, Z., Hu, C., Wang, J., & Zeng, T. (2019). GB-InSAR-based DEM generation method and precision analysis. *Remote Sensing*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/rs11090997>
- Tjahjadi, M. E., Sai, S. S., & Purwanto, H. (2015). Sistem Peringatan Dini Pemantauan Tanah Longsor Berbasis Teknologi Vision dan Geomatika. 1070–1080.
- Yang, G., & Jiao, W. (2011). An optimization method on ground control point distribution. *Advanced Materials Research*, 268–270, 1092–1095. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.268-270.1092>
- Zhang, W., Wang, W., & Chen, L. (2012). Constructing DEM Based on InSAR and the Relationship between InSAR DEM's Precision and Terrain Factors. *Energy Procedia*, 16, 184–189. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.01.031>