

Pemanfaatan Teknologi *Drone* dalam Menganalisis Kemiringan Lereng Sebagai Upaya Mitigasi Longsor di Desa Suco Kabupaten Jember¹

Utilization of Drone Technology in Analyzing Slope as a Landslide Mitigation Effort in Suco Village, Jember Regency

Dian Wahyu Khaulan Novianto^{a,2}, Haeruddin^b, Fanteri Aji Dharma Suparno^b

^aJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

^bProgram Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

ABSTRAK

Salah satu pemanfaatan teknologi *drone* adalah dalam mitigasi bencana longsor. Foto udara yang dihasilkan oleh *drone* tidak hanya berupa ortofoto, tetapi juga mencakup data *Digital Elevation Model* (DEM). DEM sendiri merupakan representasi digital dari ketinggian permukaan suatu area dalam bentuk tiga dimensi. Untuk menghasilkan informasi tentang tingkat kemiringan lereng, diperlukan data elevasi yang berasal dari DEM atau *Digital Terrain Model* (DTM). Kualitas DEM ditentukan oleh presisi, reliabilitas, dan akurasi data yang dihasilkan. Presisi dapat dicapai melalui metode fotogrametri, di mana kualitas data sangat bergantung pada sumber data seperti foto *drone*. DEM yang detail dan akurat akan meningkatkan kemampuan dalam pemodelan yang presisi. Perbedaan utama antara DEM presisi dan DEM non-presisi terletak pada tingkat detailnya. DEM presisi mampu merepresentasikan bentuk permukaan yang menyerupai kondisi nyata dengan nilai elevasi yang konsisten. Sebaliknya, DEM non-presisi, menurut South Australian Government Data Directory, tidak memiliki standar akurasi yang jelas dan sering kali dihasilkan dari proses aerotriangulasi dengan kualitas data rendah, sehingga resolusi dan presisinya rendah. Dalam penelitian ini, data DEM yang dihasilkan dari foto *drone* menggunakan UAV diolah menjadi DEM presisi untuk membuat peta kemiringan lereng yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Pengolahan DEM dilakukan secara otomatis menggunakan algoritma penyaringan dari DSM (*Digital Surface Model*) ke DTM (*Digital Terrain Model*), serta secara manual melalui proses pengeditan DEM. Analisis kemiringan lereng dilakukan pada permukaan DEM untuk menentukan kelas-kelas kemiringan. Berdasarkan hasil penelitian, peta kemiringan lereng yang dihasilkan dari DEM presisi menggunakan foto *drone* telah memenuhi standar ketelitian geometri peta dasar BIG No.15 Tahun 2014. Peta ini sesuai untuk skala 1:2500 pada kelas 2, dengan perbedaan elevasi antara peta dan kondisi lapangan kurang dari 1 meter. Peta kemiringan lereng tersebut dapat digunakan sebagai parameter dalam analisis risiko longsor untuk mendukung upaya mitigasi bencana.

Kata kunci: DEM, DEM presisi, DSM ke DTM, kemiringan

ABSTRACT

Drone technology can be utilized as a tool for landslide mitigation. In addition to orthophotos, aerial photography produces Digital Elevation Model (DEM) data, which represents the elevation of an area's surface in a three-dimensional digital format. To generate slope data, elevation information derived from DEM or DTM (Digital Terrain Model) is required. The quality of a DEM is determined by its precision (accuracy), reliability (measurement consistency), and data accuracy. Precision can be achieved through photogrammetric measurements, and its level depends on the quality of the data source, such as aerial photographs. A detailed and accurate DEM enhances the precision and accuracy of modeling processes. The distinction between non-precision and precision DEMs lies in the surface details. A precision DEM accurately resembles actual surface details and maintains consistent elevation values, whereas a non-precision DEM, as

¹ Info Artikel: Received: 3 Oktober 2024, Revised: 10 November 2024, Accepted: 12 Desember 2024, Published: 20 Desember 2024

² Email: dean.uptti@unej.ac.id

described by the South Australian Government Data Directory, lacks defined accuracy specifications. Non-precision DEMs are often generated during low-quality aerotriangulation processes, resulting in lower resolution and precision. This study utilized aerial photo-derived DEM data processed into precision DEMs for creating slope maps that reflect actual local conditions. The processing methods involved automated DSM (Digital Surface Model) to DTM (Digital Terrain Model) filtering algorithms and manual DEM editing. To determine slope classes, slope analysis was performed on the DEM surface. The resulting slope maps, derived from precision DEMs produced using aerial photographs, comply with the geometric accuracy standards of BIG base maps (No. 15 of 2014; SNI 8022:2019). The maps meet the 1:2500 scale in class 2, with a difference of less than 1 meter between the elevation values on the maps and actual ground measurements. These slope maps can serve as key parameters for landslide risk analysis, supporting disaster mitigation efforts.

Keywords: DEM, precision DEM, DSM to DTM, slope

PENDAHULUAN

Dalam era industri 5.0, setiap bidang ilmu dituntut untuk mengembangkan teknologi canggih yang mudah diakses pengguna. Di bidang geodesi, teknologi telah berkembang pesat, salah satunya dengan pemanfaatan *drone* untuk pengukuran fotogrametri. Penelitian ini memanfaatkan teknologi *drone* sebagai langkah mitigasi bencana di wilayah yang rentan terhadap tanah longsor. Hasil pengukuran fotogrametri digunakan sebagai informasi awal untuk mendeteksi potensi bencana tersebut. Produk yang dihasilkan dari foto *drone* mencakup ortofoto dan DEM. Resolusi DEM menjadi faktor penting dalam analisis kerentanan tanah longsor, dengan presisi yang tinggi sebagai salah satu indikatornya (Chen et al., 2020). Menurut Tjahjadi et al. (2015), foto udara yang dihasilkan diproses menggunakan metode fotogrametri dan geodesi terpadu untuk menghasilkan data spasial. DEM merupakan salah satu elemen utama dalam berbagai analisis spasial dan pemodelan lingkungan (Pulighe & Fava, 2017). Peta kemiringan lereng dibuat berdasarkan DEM yang dihasilkan dari foto udara. Penambahan Ground Control Points (GCP) ke dalam foto berkontribusi signifikan dalam meningkatkan presisi DEM (Jimenez et al., 2017 dalam Galeana Pérez et al., 2021). Untuk menyajikan informasi topografi yang akurat, diperlukan produk tiga dimensi berkualitas tinggi, beresolusi tinggi, dan presisi tinggi, yang dikenal sebagai Digital Elevation Model (DEM) (Zhang et al., 2012). DEM yang dihasilkan dari foto *drone* sering kali mencakup ketinggian vegetasi dan objek lainnya di permukaan bumi, sehingga diperlukan proses penyaringan untuk menghasilkan DEM presisi. Menurut Geraldino Dadu Kerong et al. (2022).

DEM presisi dapat diperoleh melalui metode penyaringan otomatis yang memisahkan titik *ground* dari titik *non-ground* (vegetasi). Namun, metode ini kadang menghadapi tantangan dalam mengelompokkan kelas-kelas permukaan pada DEM. Oleh karena itu, penelitian ini melakukan analisis kemiringan lereng untuk mengelompokkan kelas sesuai dengan kondisi permukaan DEM. Hasil peta kemiringan lereng dari penelitian ini dapat digunakan sebagai parameter pendukung dalam analisis mitigasi bencana tanah longsor.

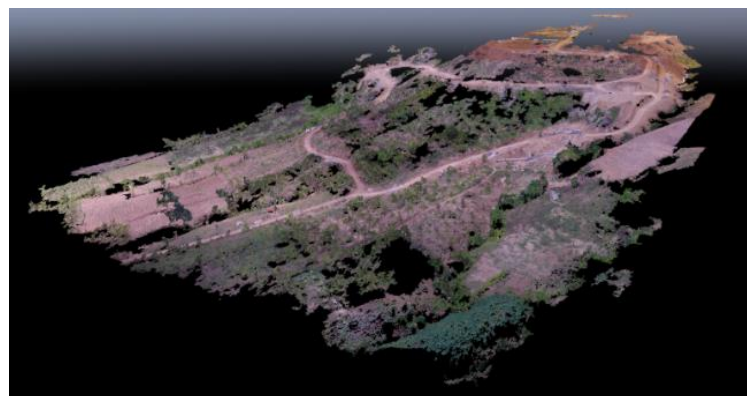
METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian bertempat di Desa Suco Kecamatan Mumbulsari Kabupaten Jember (Gambar 1 dan 2). Secara geografis koordinat lokal penelitian terletak pada koordinat 8°15'55.3"LS dan 113°45'46.5"BT.



Gambar 1. Lokasi penelitian



Gambar 2. Representasi Topografi DEM Presisi

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 (Puslittanak, 2004)

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

Uji Akurasi Vertikal Peta Kelerengan

Hasil DEM presisi diuji untuk mengukur akurasi vertikalnya dengan menggunakan perhitungan RMSE (*Root Mean Square Error*). Nilai RMSE diperoleh dari selisih antara koordinat Z GCP pada model (hasil foto) dengan koordinat Z GCP dari pengamatan GPS geodetik di lapangan, kemudian dibagi berdasarkan jumlah titik GCP yang digunakan (Persamaan 1). Jumlah titik GCP ini disesuaikan dengan standar yang tercantum dalam SNI 8202:2019 mengenai ketelitian peta dasar (BIG, 2020). RMSE yang digunakan mengacu pada standar Perka BIG Nomor 15 Tahun 2014, yang dirumuskan pada Persamaan 1.

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

Keterangan :

n = Jumlah total dari seluruh titik cek pada peta

z = Point koordinat pada sumbu z

Pengujian akurasi atau ketelitian geometri dilakukan berdasarkan standar Perka BIG Nomor 15 Tahun 2014 tentang pedoman teknis ketelitian peta dasar, dengan menggunakan nilai RMSE sebagai acuan. Pengujian ini mencakup perhitungan CE90 dan LE90, yang dihitung berdasarkan standar *United States National Mapping Accuracy Standard* menggunakan Persamaan 2 dan 3.

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

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

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.

RMSE_r = *Root Mean Square Error* untuk koordinat X dan Y (Horizontal).

RMSE_z = *Root Mean Square Error* untuk koordinat Z (Vertikal).

CE90 = Nilai ketelitian tingkat kepercayaan 90% untuk posisi horizontal.

LE90 = Nilai ketelitian tingkat kepercayaan 90% untuk posisi vertikal.

Setelah CE90 dan LE90, maka ketelitian geometri peta dasar berdasarkan kelas dapat diuraikan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Ketentuan ketelitian Geometri Peta Dasar Berdasarkan Kelas (SNI 8202:2019)

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

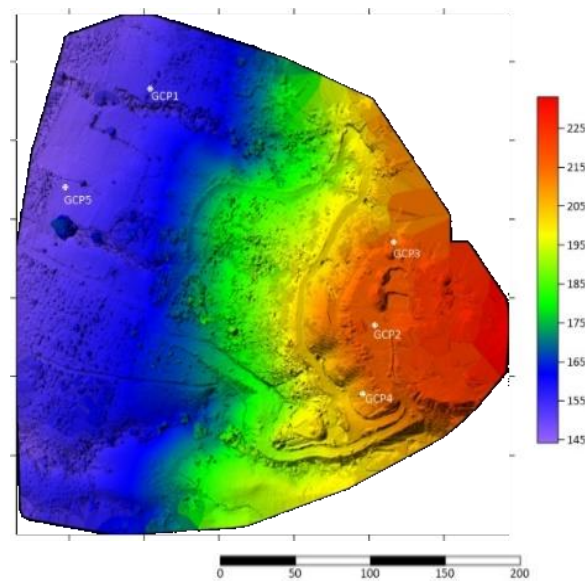
Tabel 3. Ketelitian Geometri Peta Dasar (SNI 8202:2019)

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

HASIL PENGOLAHAN DATA

Pengolahan DEM Presisi

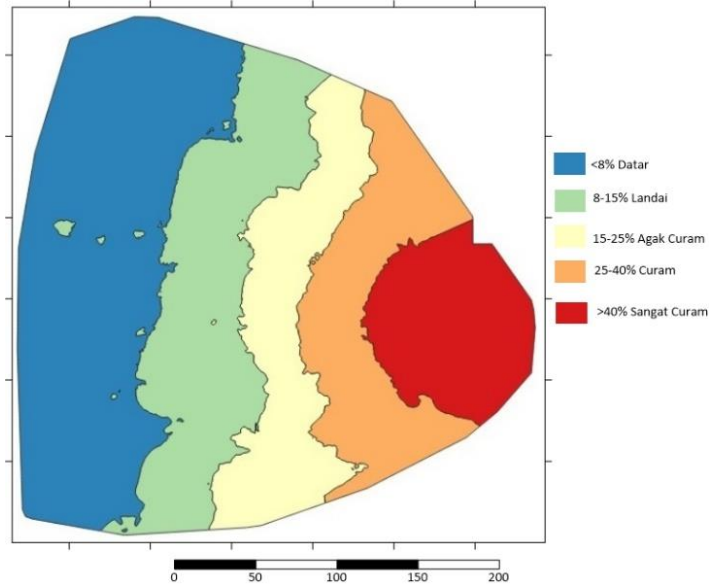
Langkah awal melibatkan klasifikasi *point clouds* untuk mengelompokkan objek-objek dalam data DEM ke dalam kategori tertentu, seperti *ground* dan *non-ground points* (vegetasi), guna menghilangkan fitur *non-ground* (Gambar 3). Hasil klasifikasi *point clouds* ini kemudian diproses menggunakan perangkat lunak fotogrametri berlisensi. Namun, hasil klasifikasi awal sering kali masih mengandung elemen vegetasi pada permukaan DEM. Oleh karena itu, diperlukan proses *filtering* atau penyempurnaan spasial pada data DEM menggunakan metode *filtering* dengan perangkat lunak fotogrametri. Penghitungan nilai kemiringan dilakukan melalui analisis spasial pada data ketinggian permukaan tanah atau elevasi DEM/DTM (Mahmudi et al., 2015). Proses ini dilakukan melalui dua pendekatan: secara manual menggunakan fitur *editing tools* dan secara otomatis menggunakan algoritma DSM to DTM. Metode ini bertujuan untuk menghapus serta memperhalus fitur vegetasi yang terdapat pada permukaan DEM (PCI Geomatics, 2014).



Gambar 3. Hasil DEM klasifikasi *ground*

Analisa slope dari DEM Presisi Foto Drone

DEM presisi yang dihasilkan dari proses *filtering* dianalisis menggunakan fitur *3D Spatial Analyst* untuk melakukan analisis spasial digital. Salah satu analisis yang diterapkan adalah analisis kemiringan lereng (*slope*), yang digunakan untuk mengevaluasi perubahan kemiringan atau ketinggian pada DEM presisi. Nilai *slope* menunjukkan karakteristik medan: area dengan nilai *slope* rendah menunjukkan daerah datar, sementara nilai *slope* tinggi menunjukkan daerah curam. Hasil analisis *slope* pada objek *raster* dapat dinyatakan dalam bentuk derajat persen atau derajat *slope*. Pengolahan analisis *slope* dilakukan menggunakan perangkat lunak QGIS, dengan klasifikasi yang disesuaikan berdasarkan Tabel 1, yang membagi kemiringan lereng ke dalam lima kelas (Gambar 4).

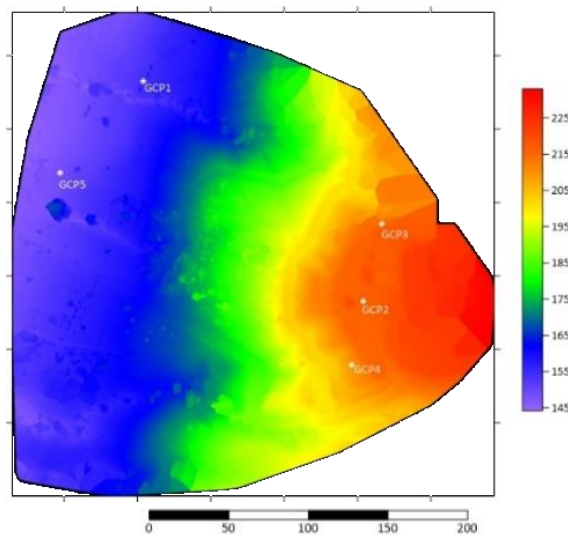


Gambar 4. Hasil analisa kemiringan lereng dari DEM

PEMBAHASAN

DEM Presisi

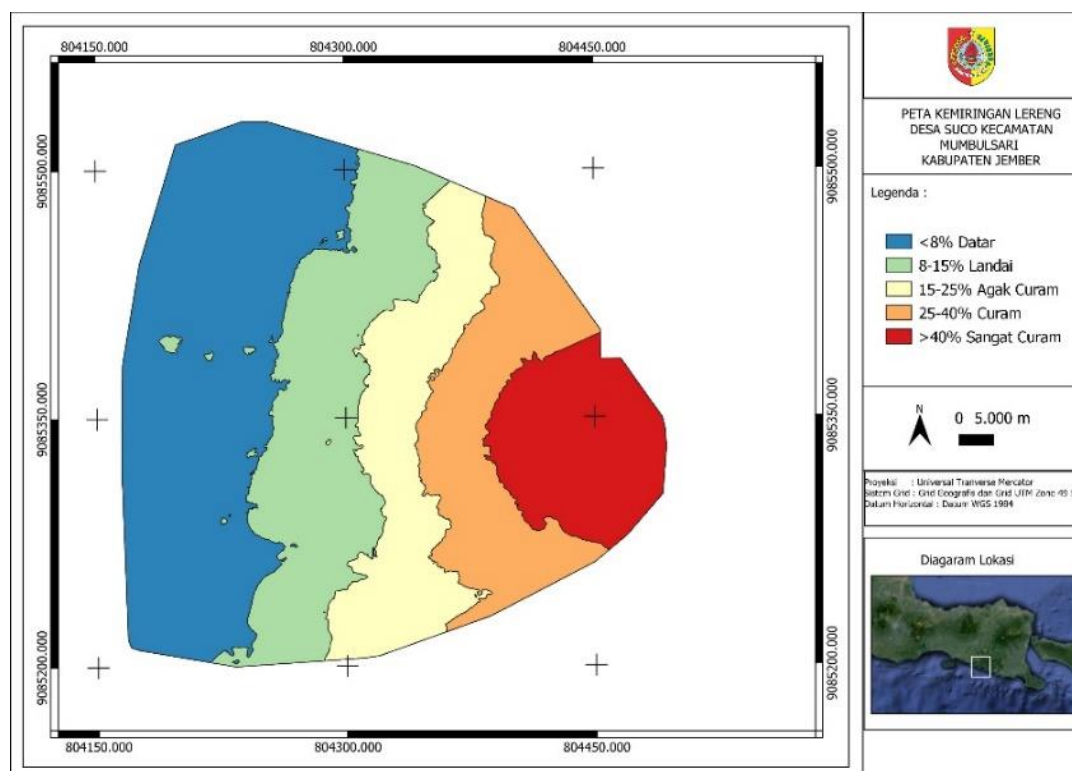
Hasil pembuatan DEM presisi setelah melalui proses *filtering* dengan metode manual dan otomatis menggunakan algoritma DSM to DTM ditampilkan pada Gambar 3. Secara visual, hasilnya menunjukkan bahwa elemen vegetasi (*non-ground*) telah dihilangkan. Metode manual berfungsi sebagai penyempurna dari metode otomatis, terutama untuk area yang belum tersaring dengan baik. Pendekatan manual memberikan kontrol lebih besar dalam proses konversi DEM, menghasilkan data yang lebih presisi. Sementara itu, metode otomatis dengan algoritma DSM to DTM dapat menghasilkan DEM yang baik, namun masih terdapat sisa elemen vegetasi sehingga memerlukan penyuntingan manual untuk menyempurnakan hasilnya (Gambar 5).



Gambar 5. Hasil DEM Presisi

Peta Kemiringan Lereng

Pada analisis kemiringan lereng, nilai kemiringan ditentukan berdasarkan perbandingan antara jarak horizontal dan vertikal. Nilai kemiringan dihitung dari nilai piksel di semua arah dalam raster grid DEM (Mahmudi et al., 2015). Peta kemiringan lereng (Gambar 6), yang dihasilkan melalui analisis *slope* menggunakan DEM presisi pada perangkat lunak analisis spasial digital berlisensi, diklasifikasikan menjadi lima kelas. Pengelompokan ini didasarkan pada acuan dari Puslittanak (2004) dan ditentukan oleh besarnya derajat kemiringan.



Gambar 6. Peta kemiringan lereng hasil dari analisis data

Kemiringan lereng berada dalam kisaran datar sampai sangat curam dengan persentase yang bervariasi. Wilayah penelitian didominasi kelereng datar dengan luas 2,897 Ha dan persentasi 32,26% (Tabel 4).

Tabel 4. Parameter kemiringan lereng

No	Nilai Kelereng	Kategori	Luas (Ha)	Presentase (%)
1	<8%	Datar	2.897	35.26
2	8-15%	Landai	1.793	21.82
3	15-25%	Agak Curam	1.285	15.64
4	25%-40%	Curam	1.258	15.31
5	>40%	Sangat Curam	0.983	11.97
Total			8.218	100

Uji Validasi Peta

Perhitungan RMSE (z) diperoleh dari selisih antara koordinat Z pada foto (model) dengan koordinat Z di lapangan. Hasil perhitungan RMSE (z) untuk DEM presisi menunjukkan nilai sebesar 0,49 meter, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5. Berdasarkan hasil ini, nilai LE90 dihitung sebesar 0,8 meter. Dengan demikian, sesuai dengan Tabel 5, uji akurasi vertikal dengan tingkat kepercayaan 90% (LE90) memenuhi standar ketelitian peta dasar pada skala 1:2500 untuk kelas 2, dengan ketelitian maksimum 1 meter dan interval kontur sebesar 1 meter (Tabel 5).

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

Koordinat	Koordinat	Koordinat	Residual
	DEM(m)	RTK GPS (m)	Errors (m)
	Z	Z	dz ²
GCP1	162.205	163.646	0.753
GCP2	210.965	209.609	0.146
....
GCP...	153.562	154.802	1.24
	RMSEz (m)		0.49

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan DEM presisi dari foto udara, akuisisi data yang diperoleh melalui proses *filtering* manual dan otomatis menggunakan algoritma DSM to DTM menunjukkan nilai RMSE(z) sebesar 0,49 meter. Uji validasi pada peta kemiringan lereng yang dihasilkan dari DEM presisi, sesuai dengan standar ketelitian geometri peta dasar BIG No. 15 Tahun 2014 (SNI 8022:2019), menunjukkan bahwa peta tersebut memenuhi ketentuan pada skala 1:2500 di kelas 2, dengan perbedaan antara nilai elevasi objek pada peta dan nilai elevasi di lapangan kurang dari 1 meter. Hasil peta kemiringan lereng ini dapat digunakan sebagai parameter dalam analisis longsor untuk mendukung mitigasi bencana longsor.

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/jgeosrev.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/ii.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. *Fiziolohichnyi 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>