



Penggunaan DTM Presisi dari Fotogrametri UAV untuk Analisa Bencana Longsor Menggunakan Sistem Informasi Geografis

Vikanisa Rahmadany¹, Martinus Edwin Tjahjadi¹ , Fransisca Dwi Agustina¹ 

¹ Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang, Kota Malang, Provinsi Jawa Timur, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 30 December 2021

Accepted: 22 April 2022

Published: 5 July 2022

Keywords:

DTM; Geographic Information System; Landslide; Photogrammetry; UAV

Corresponding author:

Vikanisa Rahmadany

Email:

vikanisarahmadany1798@gmail.com

Read online:



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

ABSTRACT

The morphologies of the Pandansari Village (Ngantang District, Malang Regency, Indonesia) are vulnerable to landslide disasters that may damage human properties, infrastructures, and even fatalities. Landslide disaster mitigation can be carried out by conducting disaster-prone mapping utilizing Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry along with geographic information systems (GIS) to produce precise Digital Elevation Model/Digital Terrain Model (DEM/DTM). The purpose of this study is to analyze areas prone to landslides using precision DTM data from UAV technology integrated with geospatial data. DEM is widely used for disaster mapping applications in the form of DTM, representing the ground surface. DTM can be generated from UAV images with photogrammetric processing and additional procedures for removing non-ground objects. This study utilizes PCI Geomatics software to remove vegetation and human-made objects off the ground surfaces semi-automatically. The evaluation revealed that LE 90% of the DTM has only deviated at approximately 0.81 m. This value follows the introductory map geometric accuracy provisions according to BIG No.15 of 2014 for a scale of 1:2500 in class 2. The landslide hazard map classifications using the landslide estimation Pustittanak are dominated by a high classification landslide hazard level with an area of 20.3 ha (48.55%). In addition, the validation of the landslide-prone map using the accuracy assessment method obtained a percentage of 83%.

How to cite: Rahmadany, V., Tjahjadi, M. E., & Agustina, F. D. (2022). Penggunaan DTM Presisi dari Fotogrametri UAV untuk Analisa Bencana Longsor Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Jambura Geoscience Review*, 4(2), 86-101. doi:<https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v4i2.12908>

1. PENDAHULUAN

Morfologi kawasan Desa Pandansari, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang yang memiliki kondisi daya dukung tanah berbentuk lereng yang terjal hingga mencapai lebih dari 45 derajat serta peristiwa hujan deras yang secara terus menerus mengguyur lereng Gunung Kelud dan sekitarnya mengakibatkan terganggunya kestabilan lereng dan terjadi perpindahan atau pergerakan massa tanah yang disebut dengan tanah longsor (Cruden & Varnes, 1996). Tanah longsor memberi dampak dengan sejumlah kerugian seperti lenyapnya harta benda, kerusakan infrastruktur hingga berjatuhnya korban jiwa. Sebagai upaya mitigasi bencana tanah longsor dalam bentuk informasi awal untuk memperkirakan potensi dari bencana tersebut, dapat dilakukan pemetaan melalui pemotretan udara yang memanfaatkan wahana udara tanpa awak atau disebut dengan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) serta pemanfaatan dari aplikasi sistem informasi geografis yang dapat digunakan untuk menganalisis daerah rawan longsor.

Berdasarkan fokus penelitian yang dikaji, dilakukan analisa sistem informasi geografis untuk identifikasi daerah yang rawan terhadap bencana tanah longsor di Desa Pandansari, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang dengan *Digital Terrain Model* (DTM) presisi yang diperoleh dari pengolahan menggunakan teknologi fotogrametri digital. Perangkat lunak PCI Geomatica 2014 digunakan untuk mengekstraksi data DTM dari data *Digital Surface Model* (DSM) dengan metode pengolahan semi-otomatis *filtering*. Prosedur ini dapat menghasilkan DTM dengan kualitas yang lebih akurat dan presisi serta menyerupai bentuk *ground* pada daerah sebenarnya (Kerong et al., 2022). Implementasi metode semi-otomatis *filtering* atau perpaduan antara otomatis *filtering* (DSM2DTM) dengan manual *filtering* (*editing tool*) pada perangkat PCI Geomatica menghilangkan DSM yang masih mengandung unsur vegetasi dan *human made object*. Keluarannya adalah fitur non vegetasi pada permukaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai kelerengan dari data ketinggian permukaan tanah atau elevasi DTM sebagai representasi kondisi ketinggian medan (Mahmudi, 2015).

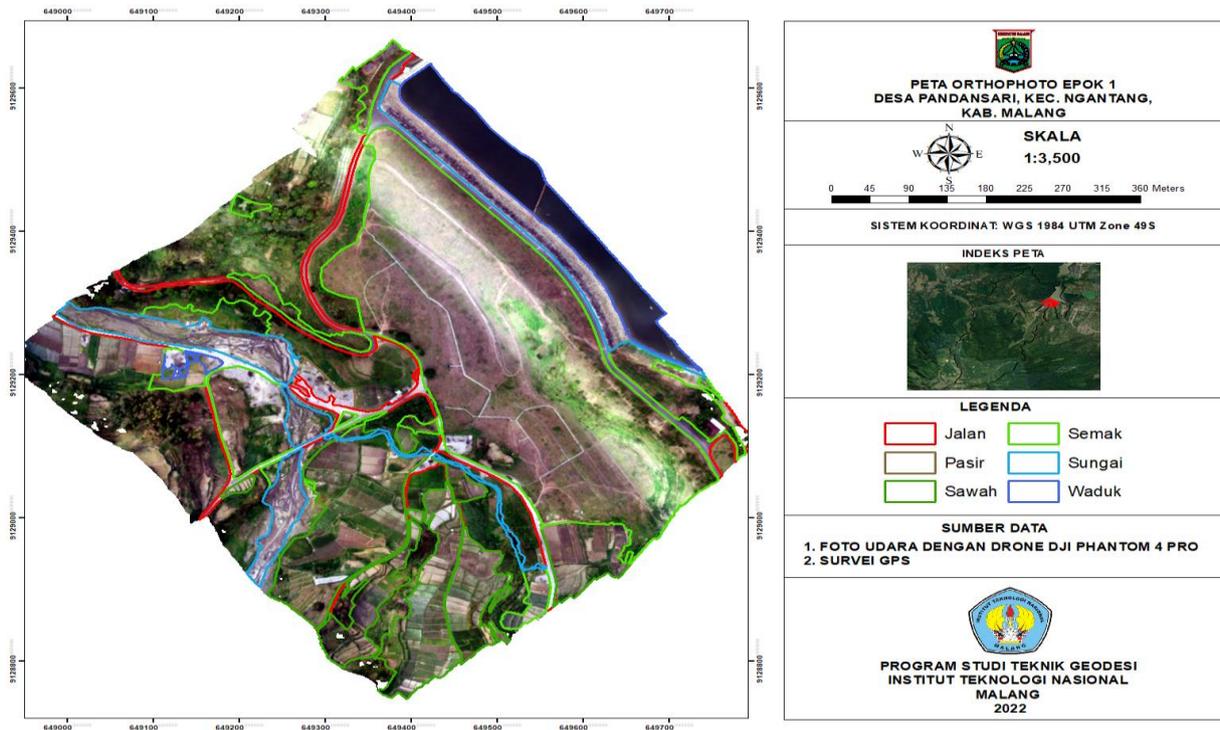
DTM merupakan representasi digital tiga dimensi dari data ketinggian pada permukaan suatu area tertentu. Sedangkan untuk presisi merupakan salah satu kualitas pada data yang terukur di dalam fotogrametri (Chandler, 1989). Presisi yang dapat dicapai dengan pengukuran fotogrametri tergantung pada kualitas sumber data. Foto yang diperoleh dari UAV, memberikan ortofoto dan DTM dengan resolusi yang tinggi. Resolusi DTM menjadi salah satu kontributor paling signifikan untuk analisis kerentanan tanah longsor yang efektif dan dapat menghasilkan presisi yang tinggi (Chen et al., 2020). DTM dengan resolusi tinggi dapat menghasilkan hasil cerminan dari kondisi permukaan yang sebenarnya (Du et al., 2021).

Studi identifikasi longsor menggunakan metode semi-otomatis *filtering* pada data DSM fotogrametri udara belum banyak ditemukan. Penelitian yang sebelumnya ditemukan adalah hasil *filtering* terhadap DSM dari citra satelit Alos Palsar (Julzarika & Sudarsono, 2009). Namun data yang diperoleh dengan citra satelit memiliki kekurangan seperti terhalau oleh objek awan, waktu akuisisi dengan letak data yang diperlukan tidak fleksibel, dan memiliki biaya operasional yang terbilang cukup mahal (Shofiyanti, 2011).

Penelitian terkait dengan pemanfaatan data foto udara UAV dapat digunakan sebagai salah satu sumber informasi spasial pasca bencana longsor dan dapat digunakan untuk proses analisis spasial. Identifikasi wilayah terdampak melalui hasil orthofoto UAV menggunakan teknologi UAV seperti dilakukan oleh (Azeriansyah et al., 2017) dan (Abdurrahman et al., 2020). Penggunaan teknologi UAV memiliki banyak keuntungan dari segi karakteristik presisi yang tinggi, kecepatan yang tinggi dalam pemrosesan data, ketinggian terbang rendah, persiapan terbang yang nyaman, kemudahan menghasilkan data *orthoimage* beserta *Digital Elevation Model* (DEM), dan biaya operasi yang rendah dibanding dengan data dari citra satelit. Data yang diperoleh memiliki resolusi spasial yang tinggi sehingga kesalahan dalam objek identifikasi atau pengukuran dapat diminimalisir serta memudahkan untuk mengidentifikasi objek yang sulit dijangkau (Afif et al., 2019).

Di dalam penelitian ini, DTM presisi foto udara hasil semi-otomatis *filtering* dilakukan uji ketelitian geometri vertikal (LE90) dari perhitungan RMSE (*root mean square error*) yang mengacu pada standar Badan Informasi Geospasial Nomor 15 (2014). Pengujian ketelitian terpusat pada selisih koordinat (Z) antara titik uji di peta dan titik ICP (*Independent Check Point*) yang dianggap benar dari titik uji pada permukaan tanah. Analisa spasial sistem informasi geografis pada DTM presisi digunakan untuk mendapatkan klasifikasi nilai dari kemiringan lereng (*slope*) dengan menggunakan ArcGIS 10.8. Hasil klasifikasi *slope* DTM presisi digunakan untuk memperoleh tingkat kerawanan tanah longsor dengan melakukan *overlay* bersama parameter lainnya yaitu tutupan lahan, curah hujan, jenis tanah, dan jenis batuan, serta dilakukan perhitungan antara skoring dan pembobotan menggunakan model pendugaan kerawanan longsor (Puslittanak, 2004). Peta rawan tanah longsor yang dihasilkan, diklasifikasi menjadi empat tingkatan potensi terhadap terjadinya tanah longsor. Hasil klasifikasi peta rawan longsor juga dilakukan uji validitas atau akurasi dengan klasifikasi yang sebenarnya di lapangan.

Penelitian ini bertujuan menganalisa daerah yang rawan terhadap bencana tanah longsor dengan data DTM presisi dari teknologi UAV yang diintegrasikan dengan data geospasial menggunakan analisa spasial sistem informasi geografis untuk mengetahui daerah sebaran



Gambar 1. Peta ortofoto Desa Pandansari, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang

longsor yang dihasilkan melalui peta kerawanan longsor. Diharapkan dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat menghasilkan sebuah peta rawan bencana tanah longsor yang baik sebagai *landslide identifier* dalam upaya mitigasi dan kewaspadaan terhadap daerah yang berpotensi bencana tanah longsor.

2. METODE

Daerah penelitian longsor dilakukan di Desa Pandansari, wilayah Kecamatan Ngantang, pada bagian barat Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur yang ditunjukkan pada Gambar 1. Secara geografis koordinat lokasi penelitian tersebut terletak pada koordinat $7^{\circ} 51'57.58''$ LS dan $112^{\circ} 21'39.68''$ BT.

2.1. Teknik Akuisisi Data

Teknik akuisisi data primer terdiri atas data foto, titik GCP (*Ground Control Point*), dan titik ICP (*Independent Control Point*). Titik GCP didapatkan melalui hasil pengamatan GPS (*Global Positioning System*) Geodetik dengan metode statik. Titik GCP dibutuhkan sebagai titik referensi pada area pemotretan udara. Metode statik yakni penentuan posisi GPS dengan *receiver* diam terhadap titik yang diamati. Sedangkan titik ICP sebagai titik kontrol kualitas dari objek (Pardo et al., 2019), diperoleh dengan metode *Real Time Kinematic* (RTK) yang merupakan metode untuk memperoleh koordinat titik dengan hasil ketelitian yang tinggi dengan waktu pengambilan yang relatif cepat (Abidin, 2000). Data foto diperoleh melalui pemotretan udara yang dilakukan dengan memanfaatkan teknologi UAV. Teknik potret udara ini dilakukan dengan menentukan jalur terbang dan tinggi terbang yang menyesuaikan area penelitian.

Selain data primer, data sekunder juga dibutuhkan yang meliputi data Curah Hujan Tahun 2021 dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Malang, Jenis Tanah Tahun 2016 diperoleh dari Badan Penelitian dan Pengembang Pertanian, dan Jenis Batuan (Geologi) dari Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM).

2.2. Teknik Pengolahan Data

Teknik pengolahan terhadap DSM foto udara yang masih mengandung unsur vegetasi dan *human made object* diekstraksi menjadi data DTM presisi dengan software PCI Geomatica 2014. Proses penghapusan atau penghalusan permukaan data DSM menggunakan metode semi-

otomatis *filtering*. Metode semi-otomatis *filtering* merupakan perpaduan metode otomatis filter dengan algoritma DSM2DTM yakni secara otomatis mengubah DSM menjadi DTM dengan menerapkan serangkaian langkah pemfilteran yang menghilangkan fitur seperti bangunan dan pohon serta menghaluskan hasilnya dengan menerapkan penghapusan fitur permukaan besar, kemudian menghilangkan gundukan dan lubang yang lebih kecil dan menerapkan filter pemulusan, sedangkan metode manual yang digunakan dengan alat (*tools*) yang tersedia pada software PCI Geomatica, dapat membantu dalam pemindaian permukaan dari hasil metode otomatis yang dimana masih belum terfilter dengan baik. Dengan penggunaan metode manual, pengguna dapat menentukan dengan menggambarkan bentuk poligon pada permukaan yang masih belum ter-*filter* dengan baik kemudian memilih *tools focus DEM editing* seperti *Terrain filters*, *Bump and Pit filters*, *Median filters*, *Clamp filters*, dan *Final manual touch-up* yang tersedia pada PCI Geomatica. Metode manual memungkinkan kontrol proses konversi DEM memberikan hasil yang terbaik.

DTM presisi yang dihasilkan, dilakukan uji akurasi vertikal dengan perhitungan RMSE (*root mean square error*). Nilai RMSE dihasilkan melalui selisih koordinat Z ICP model (foto) dengan koordinat Z ICP dari pengamatan GPS Geodetik (lapangan) kemudian dibagi sesuai dengan jumlah titik ICP yang digunakan (Persamaan 2). Sedangkan untuk hasil ortofoto juga dilakukan uji akurasi horizontal dengan perhitungan RMSE yang nilai RMSE dihasilkan melalui selisih koordinat X dan Y model dengan koordinat ICP dari lapangan (Persamaan 1). Titik ICP perlu disebar secara merata pada area penelitian untuk mengetahui tingkat akurasi atau ketelitian dari hasil pengolahan ortorektifikasi. 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:

$$\text{RMSE}_{\text{horizontal}} = \sqrt{\frac{D^2}{n}} \quad (1)$$

dimana,

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{\text{RMSE}_x^2 + \text{RMSE}_y^2} \\ &= \sqrt{\frac{\sum((X_{\text{data}} - X_{\text{cek}})^2 + (Y_{\text{data}} - Y_{\text{cek}})^2)}{n}} \\ \text{RMSE}_{\text{vertikal}} &= \sqrt{\frac{\sum((Z_{\text{data}} - Z_{\text{cek}})^2)}{n}} \end{aligned} \quad (2)$$

dimana: n adalah jumlah total dari seluruh titik *check* pada peta; D adalah selisih koordinat di lapangan dengan koordinat di peta; x adalah point koordinat pada sumbu x; y adalah point koordinat pada sumbu y; z adalah 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 3 dan 4.

$$\text{CE90} = 1.5175 \times \text{RMSE}_r \quad (3)$$

$$\text{LE90} = 1.6499 \times \text{RMSE}_z \quad (4)$$

dimana: RMSE adalah 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 adalah *Root Mean Square Error* untuk posisi koordinat X dan Y (Horizontal); RMSE_z adalah *Root Mean Square Error* untuk posisi koordinat Z (Vertikal); CE90 adalah Nilai ketelitian dengan tingkat

Tabel 1. 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

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. Keterangan pengolahan data/analisa spasial sistem informasi geografis

No	Parameter	Analisis	Skala Peta
1	Peta Kemiringan Lereng	<i>3D Analyst – Slope – Reclassify – Raster to Polygon - Skoring</i>	1:2.500
2	Peta Tutupan Lahan	<i>Digitation On Screen – Topology – Klasifikasi - Skoring</i>	1:2.500
3	Peta Jenis Tanah	<i>Geoprocessing Clip Batas Dusun – Klasifikasi - Skoring</i>	1:2.500
4	Peta Jenis Batuan	<i>Geoprocessing Clip Batas Dusun – Klasifikasi - Skoring</i>	1:2.500
5	Peta Curah Hujan	<i>Analysis Tools – Proximity – Create Polygon Thiessen – Geoprocessing Clip Batas Dusun – Klasifikasi - Skoring</i>	1:2.500

kepercayaan 90% untuk posisi horizontal; LE90 adalah Nilai ketelitian dengan tingkat kepercayaan 90% untuk posisi vertikal.

Linear Error 90% (LE90) atau ketelitian geometrik vertikal (elevasi) adalah nilai jarak yang menunjukkan bahwa, dengan tingkat kepercayaan 90%, perbedaan antara elevasi objek di peta dan di lapangan lebih kecil dari nilai jarak tersebut. Sedangkan untuk *Circular Error* 90% (CE90), radius lingkaran dari ukuran ketelitian geometrik horizontal yang menunjukkan bahwa, dengan tingkat kepercayaan 90%, perbedaan antara posisi objek di peta dan di lapangan lebih kecil dari nilai radius tersebut. Standar atau acuan ketelitian geometri peta dasar ditentukan pada Tabel 1 dan 2.

DTM presisi yang dihasilkan dari proses *filtering*, kemudian diklasifikasi untuk mendapatkan nilai kemiringan lereng pada software ArcGIS 10.8 dengan fitur *3D Spatial Analyst*. Analisa kemiringan lereng yang digunakan untuk kemiringan lereng terhadap DTM presisi melalui *slope*. *Slope* adalah nilai dari perubahan ketinggian (kemiringan). Daerah dengan nilai *slope* yang lebih rendah, merupakan daerah yang lebih datar. Sebaliknya, daerah dengan nilai *slope* yang lebih tinggi merupakan daerah yang lebih curam. *Output Slope* dari sebuah objek raster dapat dihitung dalam bentuk persen atau derajat *slope*. Untuk pengolahan data atau analisa spasial pada masing-masing parameter tanah longsor dapat dilihat pada Tabel 3.

2.3. Teknik Analisa Data

Sistem klasifikasi longsor yang digunakan mengacu pada klasifikasi longsor oleh Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat (Puslittanak) Tahun 2004 yang disesuaikan dengan karakteristik daerah penelitiannya. Menurut model Puslittanak (2004), parameter kelerengan, jenis batuan, tutupan lahan memiliki nilai bobot sebesar 20%, faktor curah hujan memiliki nilai bobot sebesar 30%, sedangkan jenis tanah memiliki nilai bobot sebesar 10%. Bobot tersebut didasarkan pada pengaruh dari peta tersebut terhadap terjadinya bencana tanah longsor. Berikut rumus pada Persamaan 5, untuk mengetahui tingkatan/klasifikasi kerawanan tanah longsor:

$$\text{Total Skor} = \sum (\text{Bobot} \times \text{Skoring}) \quad (5)$$

Adapun keterangan dari setiap parameter beserta bobot dan pemberian skor yang mengacu pada Puslittanak (2004) ditunjukkan pada Tabel 4. Nilai skor jenis batuan diberikan berdasarkan tingkat pelapukan yang tinggi ataupun bersifat lunak secara fisik (mudah tergerus oleh air).

Tabel 4. Skor dan bobot jenis batuan

Parameter	Bobot	Skor
Vulkanik		3
Sedimen	10%	2
Aluvial		1

Sumber: Puslittanak (2004)

Tabel 5. Skor dan bobot tutupan lahan

Parameter	Bobot	Skor
Tegalan, Sawah		5
Semak Belukar		4
Hutan dan Perkebunan	20%	3
Kota/Pemukiman		2
Tambak, Waduk Perairan		1

Sumber: Puslittanak (2004)

Tabel 6. Skor dan bobot kemiringan lereng

Parameter()	Bobot	Skor	Keterangan
>45		5	Sangat Curam
30-45		4	Curam
15-30	20%	3	Agak Curam
8-15		2	Landai
<8		1	Datar

Sumber: Puslittanak (2004)

Tabel 7. Skor dan bobot jenis tanah

Parameter	Bobot	Skor	Keterangan
Regosol		5	Sangat Peka
Andosol, Podsolik		4	Peka
Latosol Cokelat, Kambisol	20%	3	Agak Peka
Asosiasi Latosol Cokelat		2	Kurang Peka
Aluvial, Glei		1	Tidak Peka

Sumber: Puslittanak (2004)

Tabel 8. Skor dan bobot curah hujan

Parameter	Besaran (mm/Tahun)	Bobot	Skor
Sangat Basah	>3000		5
Basah	2501-2300		4
Sedang	2001-2500	30%	3
Kering	1501-2000		2
Sangat Kering	<1500		1

Sumber: Puslittanak (2004)

Kondisi ini yang kemudian akan mempengaruhi kestabilan lereng hingga menyebabkan terjadinya longsor. Pada Tabel 5 untuk tutupan lahan, skor yang diberikan berdasarkan pengaruh terhadap longsor yang dilihat dari kondisi tutupan lahan tersebut ditempatkan. Contoh seperti pada area semak belukar yang terdapat pada kemiringan lereng yang curam, sangat tinggi potensi terjadinya tanah longsor sehingga memiliki nilai skor yang tinggi. Pada Tabel 6 untuk kemiringan lereng, skor diberikan berdasarkan tingkat kemiringan lereng yang dapat memberi pengaruh terhadap kestabilan lereng, lereng yang memiliki kecuraman yang tinggi tidak dapat menahan beban sehingga akan berpotensi longsor. Pada Tabel 7 untuk jenis tanah, skor yang diberikan tergantung pada tingkat erodibilitas tanah (kepekaan terhadap erosi) yaitu mudah atau sukarnya tanah ambruk oleh tingginya daya dari butiran hujan dan/oleh daya aliran permukaan. Semakin peka terhadap erosi, maka semakin tinggi skor yang diperoleh jenis tanah tersebut (Veihe, 2002). Skor curah hujan ditentukan berdasarkan tingkat intensitas curah hujan. Semakin tinggi intensitas curah hujan, semakin berpengaruh terhadap timbulnya tanah longsor (Tabel 8).

Hasil analisa *overlay* untuk peta rawan tanah longsor dengan 4 klasifikasi terkait dengan berpotensi area pada longsor dengan tingkatan kelasnya terdiri dari area rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi dengan nilai interval masing-masing kelas. Penentuan area tersebut dilakukan dengan perhitungan menggunakan Persamaan 6.

$$\text{Range} = \frac{\Sigma \text{Skor tertinggi} - \Sigma \text{Skor Terendah}}{\text{Jumlah Kelas Klasifikasi}} \quad (6)$$

dimana: *Range* adalah Nilai interval kelas longsor; Skor adalah Nilai parameter longsor.

Untuk mengetahui tingkat validitas atau akurasi yang diperoleh dari peta rawan tanah longsor, dilakukan teknik *accurassion assessment* yang bertujuan untuk menentukan akurasi dari klasifikasi titik kejadian longsor (peta) dengan data di lapangan (Selaby et al., 2021). Berikut rumus dari *accurassion assessment* pada Persamaan 7.

$$\text{Accurassion assessment} = \frac{\Sigma \text{Titik Sesuai dengan Groundcheck}}{\Sigma \text{Semua Titik Uji}} \times 100 \quad (7)$$

jika nilai yang dihasilkan *accurassion assessment* adalah $\geq 80\%$ maka peta yang dihasilkan akurat terhadap klasifikasi longsor yang sebenarnya (National Park Service Vegetation Inventory, 2011).

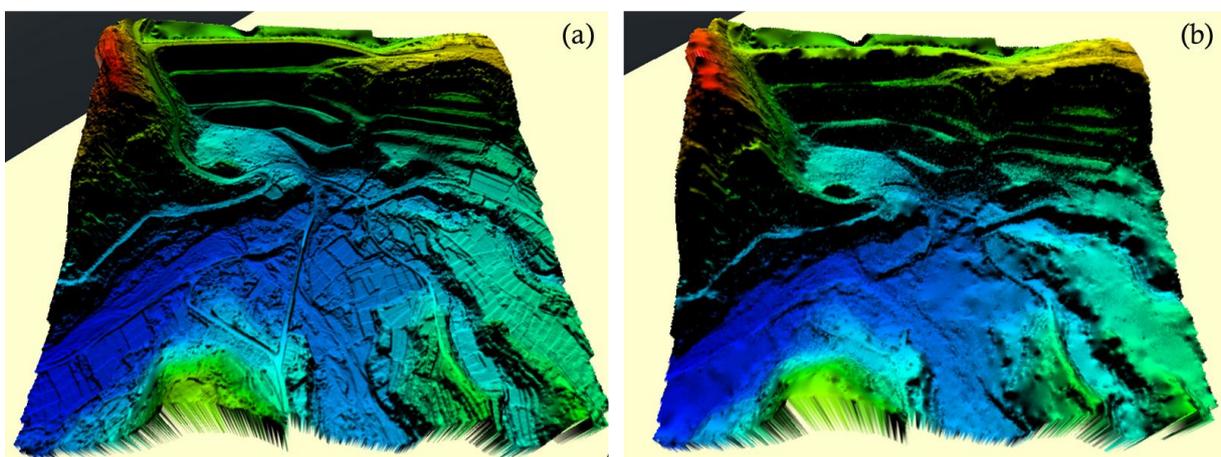
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. DTM Presisi

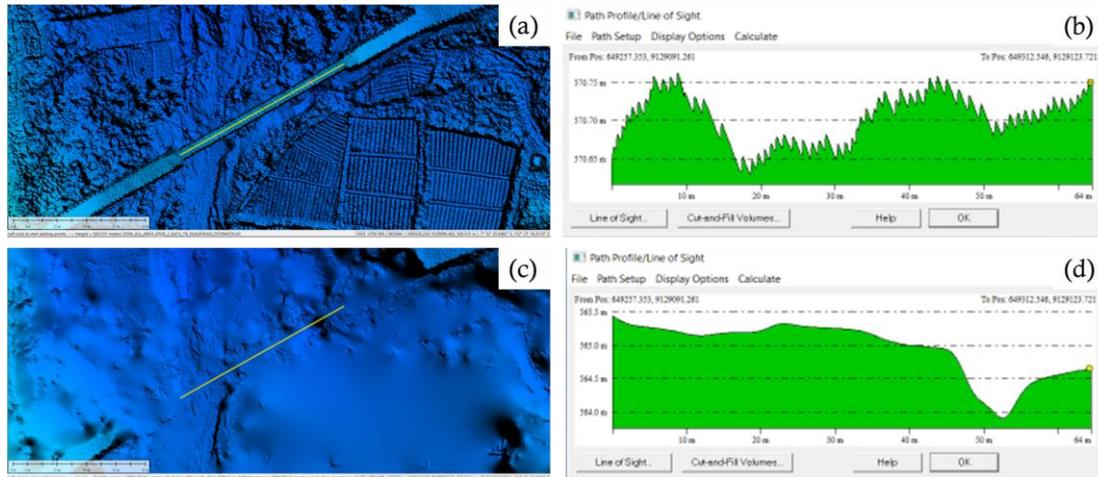
Gambar 2a menunjukkan hasil dari pengolahan data foto udara dengan software Agisoft Metashape 10.6 untuk memperoleh data DSM. Data DSM yang dihasilkan memiliki resolusi sebesar 11.6 m/*pix*. Gambar 2b merupakan hasil pengolahan semi-otomatis *filtering* terhadap data DSM (ekstraksi DSM ke DTM). Metode semi-otomatis *filtering* dilakukan dengan dua metode yakni otomatis *filtering DSM2DTM Algorithm* dan manual *filtering* menggunakan *tools focus DEM editing* pada software PCI Geomatica 2014.

Perbedaan elevasi antara DSM dengan DTM presisi pada lokasi yang sama ditunjukkan pada *path profile* (Gambar 3a, Gambar 3c), dengan ketinggian maksimum yang diperoleh pada DSM yakni 570.75 m (Gambar 3b), sedangkan untuk ketinggian maksimum pada DTM presisi yakni 565.5 m (Gambar 3d). Pada bagian antara visualisasi DSM dengan DTM presisi menunjukkan hasil yang signifikan dimana pada Gambar 3a, menampakkan fitur *human made object* yaitu jembatan dan area vegetasi persawahan telah terhapus pada Gambar 3c, setelah dilakukan pengolahan semi-otomatis *filtering*.

Nilai dari hasil perhitungan RMSE(z) DTM presisi didapatkan sebesar 0.49 meter (Tabel 9). Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, didapatkan nilai LE90 sebesar 0.81 meter. Dapat disimpulkan sesuai pada Tabel 10, 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.



Gambar 2. (a) DSM; (b) DTM Presisi



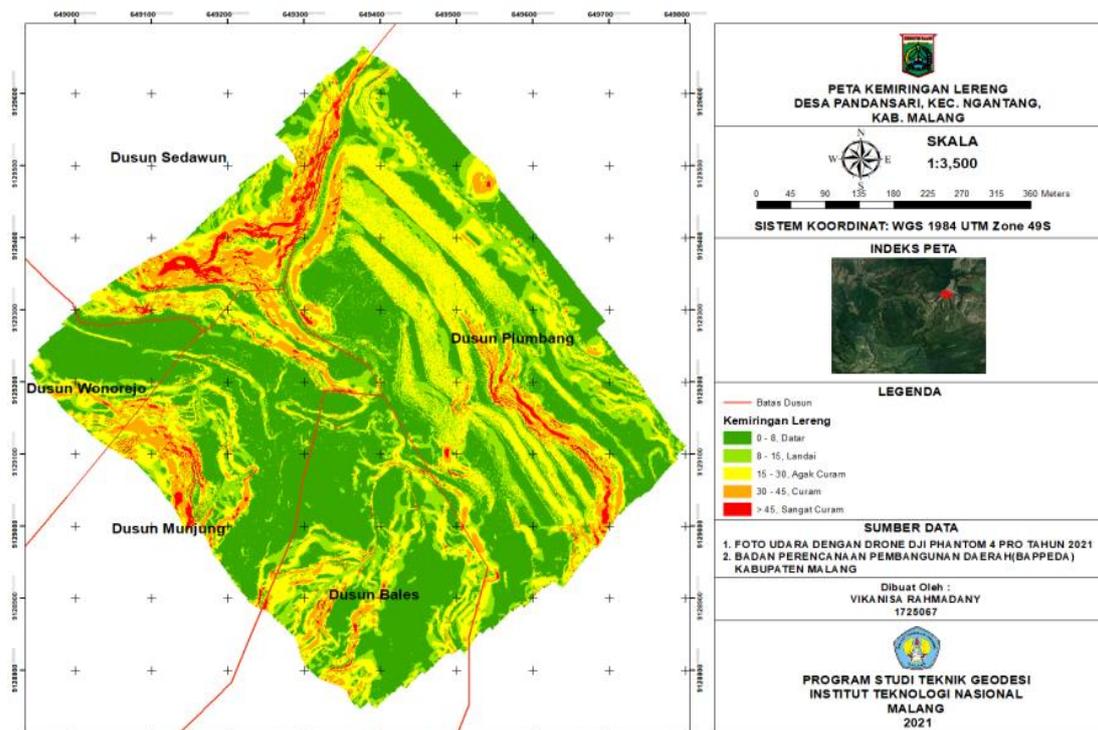
Gambar 3. (a) Path profil pada DSM; (b) Keterangan path profile DSM; (c) Path profile pada DTM presisi; (d) Keterangan path profile DTM presisi.

Tabel 9. Perhitungan RMSE ketelitian geometri vertikal (DTM)

Point	Koordinat DSM all epok 2 (m)	Koordinat RTK GPS (m)	Residual errors (m)
	Z	Z	dz^2
ICP_1	608.2046413	609.2274	1.05
ICP_2	610.9648513	611.30125	0.11
....
ICP_25	559.0817293	559.589	0.26
RMSEz (m)			0.49

Tabel 10. Hasil uji LE90 berdasarkan kelas BIG No. 15 Tahun 2014

Ketelitian	Hasil uji LE90 (m)	Ketelitian peta skala 1:2500 Kelas 2 (m)
Vertikal	0.81	1



Gambar 4. Peta kemiringan lereng area penelitian dari hasil DTM presisi

Tabel 11. Keterangan hasil analisa parameter kemiringan lereng

No	Kelas Kelerengan	Skor	Kategori	Luas (ha)	Persentase
1	>45	5	Sangat Curam	1.08	2.58%
2	30 - 45	4	Curam	3.86	9.23%
3	15 - 30	3	Agak Curam	10.3	24.62%
4	8 - 15	2	Landai	8.3	19.84%
5	<8	1	Datar	18.3	43.74%
Total				41.8	100%

Tabel 12. Perhitungan RMSE horizontal (ortofoto)

Point	Koordinat DSM		Koordinat RTK		RESIDUAL ERRORS (m)		
	All Area Epok 2 (m)		GPS (m)		dx ²	dy ²	
	X	Y	X	Y			
ICP_1	649332.1	9129473	649332.1	9129473	0.001612	0.009351	
ICP_2	649425.9	9129470	649425.8	9129469	0.000507105	0.028540724	
....	
ICP_25	649145.8	9129285	649145.7	9129284	1.86E-06	0.017927	
RMSEr (m)						0.13	

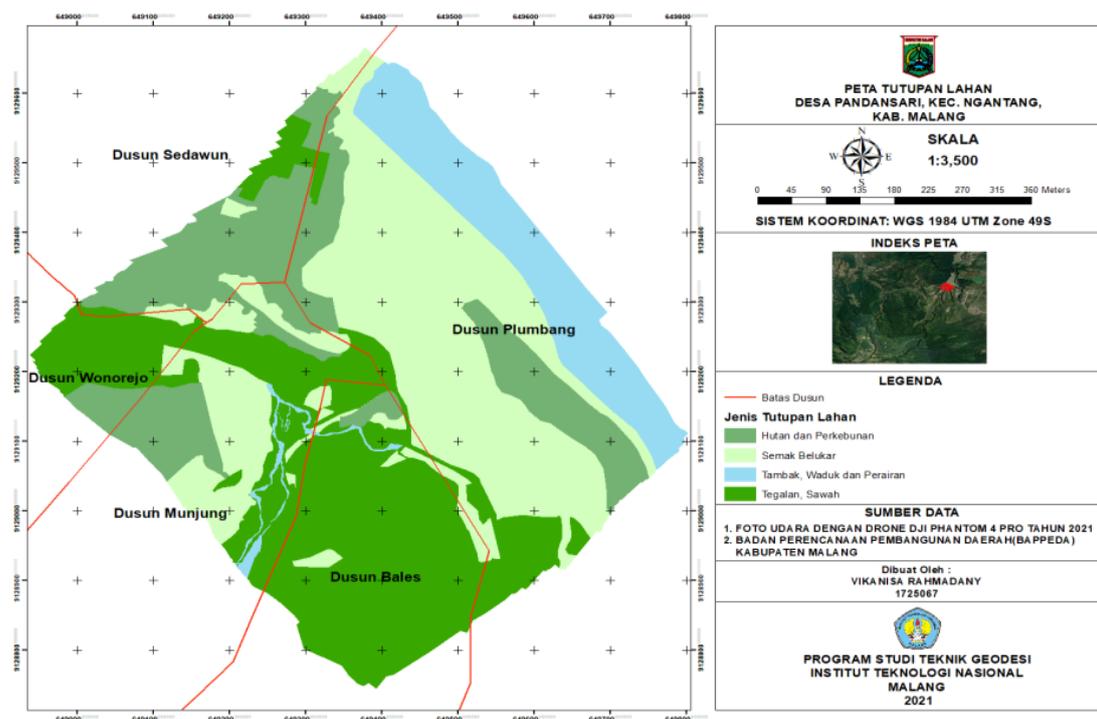
Tabel 13. Hasil uji ketelitian horizontal berdasarkan kelas big No. 15 Tahun 2014

Ketelitian	Hasil Uji CE90 (m)	Ketelitian Peta Skala 1:2500
		Kelas 2 (m)
Horizontal	0.19	2.25

**Gambar 5.** Ortofoto

3.2. Klasifikasi Slope

Nilai kelerengan berlandaskan pada perbandingan antara jarak horizontal dan jarak vertikal. Peta kemiringan lereng (Gambar 4) yang diperoleh dari analisa *slope* dengan DTM presisi, terbagi menjadi 5 kelas dengan acuan (Puslittanak, 2004) yang ditentukan berdasarkan besar derajat



Gambar 6. Peta tutupan lahan area penelitian

Tabel 14. Keterangan hasil analisa parameter tutupan lahan

No	Tutupan lahan	Skor	Luas (ha)	Persentase
1	Tegalan, sawah	5	14.2	34%
2	Semak belukar	4	14.3	34.19%
3	Hutan dan perkebunan	3	8.39	20.06%
4	Tambak, waduk dan perairan	1	4.94	12%
Total			41.8	100%

kemiringannya. Daerah kemiringan lereng yang paling mendominasi adalah daerah klasifikasi datar dengan luas sebesar 18.2 ha (44%), yang ditunjukkan pada Tabel 11.

3.3. Ortofoto

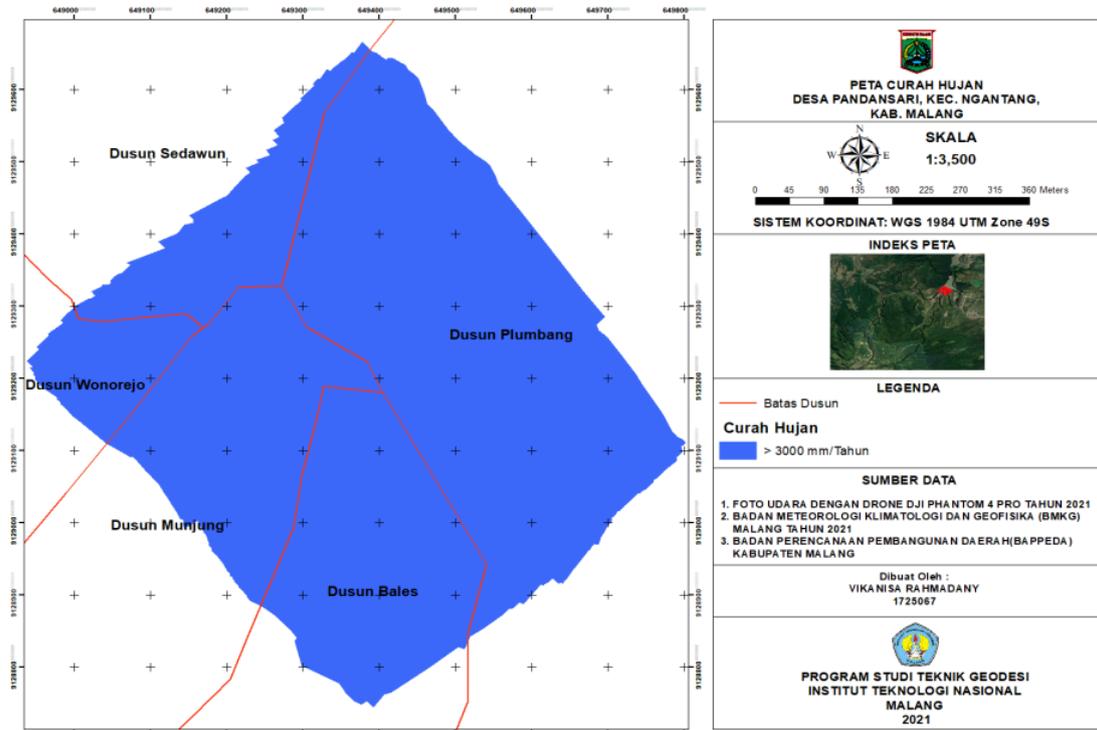
Hasil ortofoto yang terdiri atas 1 titik *bench mark* dan 4 titik kontrol tanah pada Gambar 5 yang diolah dari 1654 buah foto dengan panjang fokus 8.8 mm dan tinggi terbang rata-rata 109 m. Luas area pada ortofoto yang dihasilkan yakni sebesar 50.413 km² dan memiliki resolusi sebesar 2.9 cm/*pix*. Perhitungan RMSE (r) diperoleh dengan selisih antara titik ICP foto (model) dengan ICP sebenarnya dari nilai koordinat X dan Y. Jumlah ICP yang dipasang adalah 19 titik. Nilai yang dihasilkan dari perhitungan RMSE(r) didapatkan sebesar 0.13 meter. Nilai CE90 didapatkan sebesar 0.19 meter (Tabel 12). Dapat disimpulkan sesuai pada Tabel 13, uji akurasi horizontal dengan tingkat kepercayaan 90% (CE90) untuk ketelitian peta dasar memenuhi pada skala 1:2500 di kelas 2 dengan ketelitian maksimum sebesar 2.25 meter.

3.4. Tutupan Lahan

Gambar 6 merupakan hasil interpretasi visual ortofoto berdasarkan klasifikasi Puslittanak Tahun 2004, diperoleh area vegetasi yang berupa sawah, semak belukar, hutan, perkebunan, waduk dan perairan (Tabel 14). Sawah dan semak belukar mendominasi tutupan lahan di lokasi kajian, masing-masing dengan luas 14.2 dan 14.3 ha. Pengamatan tutupan lahan secara langsung di lapangan dapat membantu pekerjaan digitasi, sehingga hasil yang diperoleh akurat.

3.5. Curah Hujan

Peta curah hujan (Gambar 7) yang dihasilkan menunjukkan bahwa, di Desa Pandansari dilingkupi oleh intensitas curah hujan yang sangat tinggi yakni dengan besaran curah hujan berkisar 4480-6408 mm/tahun (Tabel 15).



Gambar 7. Peta curah hujan area penelitian

Tabel 15. Keterangan hasil analisa parameter curah hujan

No	Curah hujan (mm/tahun)	Skor	Kategori	Persebaran wilayah	Luas (ha)	Persentase
1	6408	5	Sangat Basah	Dusun Bales, Dusun Munjung, Dusun Plumbang, Dusun Wonorejo	4.10	10 %
2	4480 – 6408	5	Sangat Basah	Dusun Sedawun	37.7	90%
Total					41.8	100%

3.6. Jenis Tanah

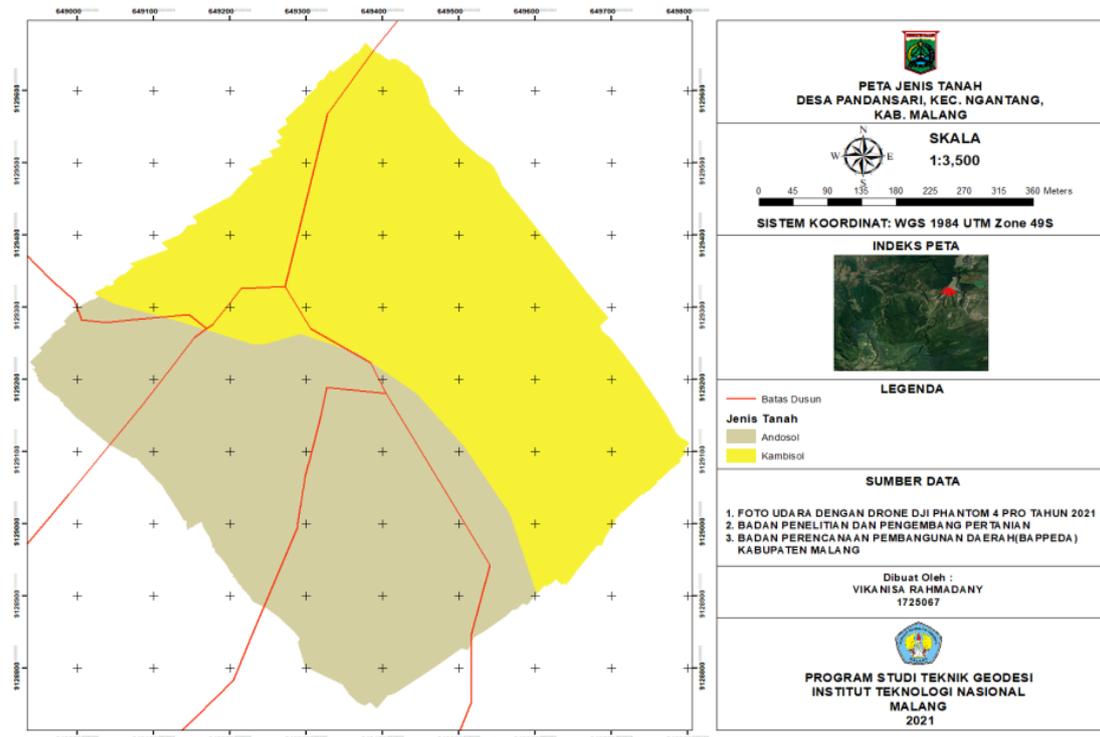
Hasil analisa jenis tanah yang ditemukan pada area penelitian adalah tanah andosol dan tanah kambisol (Gambar 8 dan Tabel 16). Tingkat kepekaan terhadap erosi pada jenis tanah dapat dijadikan penentu tingkat rawan tanah longsor (Hasibuan & Rahayu, 2017).

3.7. Jenis Batuan (Geologi)

Pengaruh struktur batuan dan komposisi mineralogi terhadap kepekaan erosi sebagai pemicu terjadinya longsor. Gambar 9 menunjukkan hasil klasifikasi jenis batuan vulkanik di seluruh area penelitian (41.8 ha) dengan skor yang diberikan adalah 3. Batuan vulkanik memiliki potensi tanah longsor yang sangat tinggi karena memiliki karakteristik yang mudah lapuk oleh pembasahan dan pengeringan saat bersinggungan dengan udara luar sehingga dapat menambah beban pada massa batuan sampai bertambah berat dan terjadilah longsor (Hasibuan & Rahayu, 2017).

3.8. Analisa Peta Rawan Tanah Longsor

Peta rawan tanah longsor (Gambar 10) yang dihasilkan menggunakan analisa spasial *overlay* terbagi atas empat klasifikasi yaitu rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi, sebagaimana pada dengan acuan pada model pendugaan longsor oleh Pustlitanak (2004). Hasil analisa rawan tanah longsor terhadap lima parameter yakni curah hujan, kemiringan lereng, tutupan lahan, jenis tanah, dan jenis batuan, menunjukkan bahwa Desa Pandansari, Kecamatan Ngantang,



Gambar 8. Peta jenis tanah area penelitian

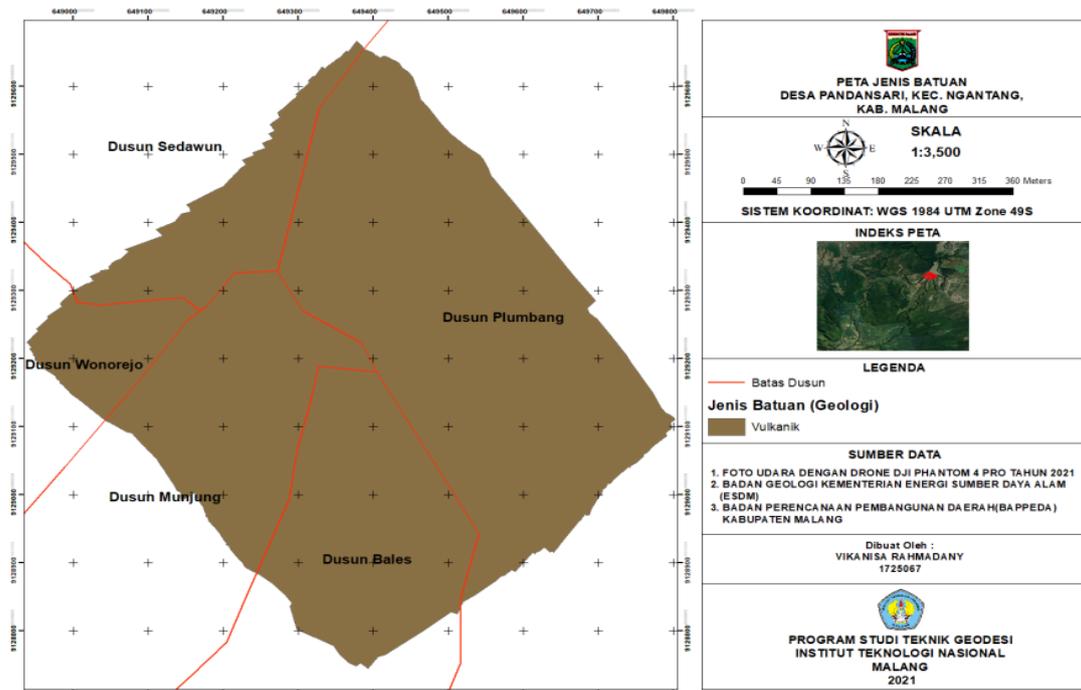
Tabel 16. Keterangan hasil analisa parameter jenis tanah

No	Jenis Tanah	Skor	Kategori	Persebaran Wilayah	Luas (Ha)	Persentase
1	Andosol	4	Peka	Dusun Sedawun, Dusun Wonorejo, Dusun Munjung, Dusun Plumbang, Dusun Bales	19.2	46 %
2	Kambisol	3	Agak Peka	Dusun Sedawun, Dusun Wonorejo, Dusun Munjung, Dusun Plumbang	22.6	54%
Total					41.8	100%

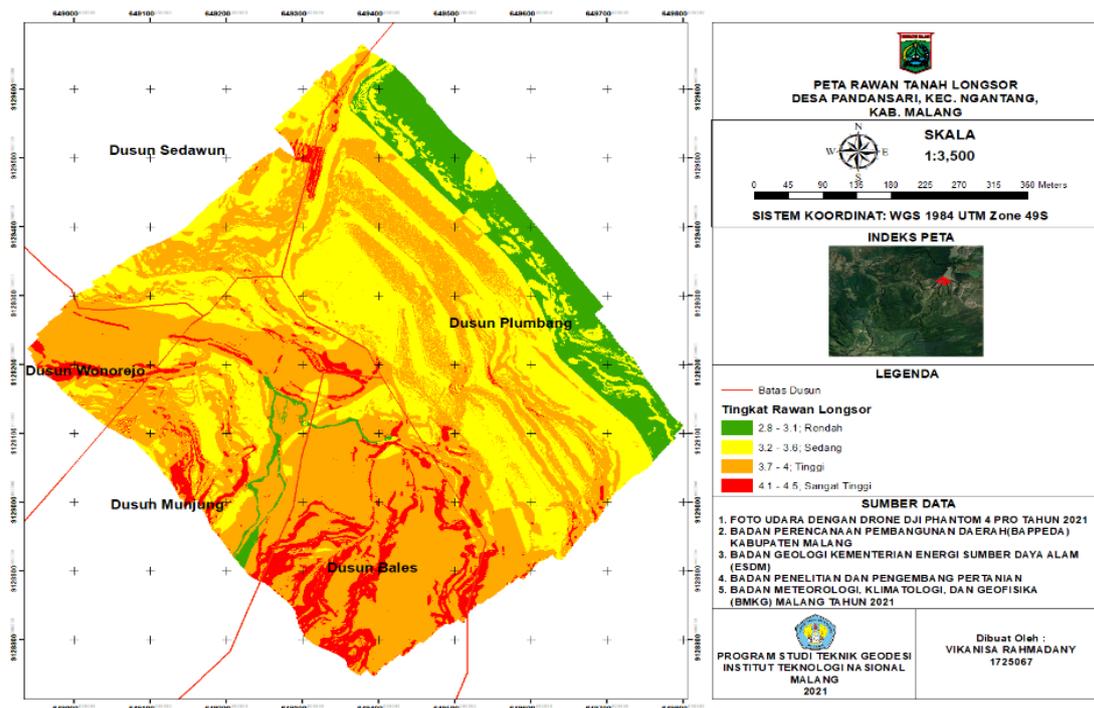
Kabupaten Malang didominasi oleh daerah dengan klasifikasi rawan longsor dari sedang hingga tinggi (Tabel 17).

Analisa kerawanan tanah longsor menunjukkan seberapa besar pengaruh dari kelima parameter yang digunakan untuk menentukan tingkatan rawan longsor. Analisa tersebut menunjukkan bahwa Desa Pandansari memiliki intensitas curah hujan yang sangat tinggi yakni mencapai > 3000 mm/tahun. Jika butiran air hujan secara terus menerus membasahi terkhusus pada daerah yang memiliki topografi lereng yang sangat curam dan daerah berbukit tinggi, daerah tersebut memiliki potensi besar terjadi tanah longsor. Desa Pandansari memiliki morfologi lereng yang sangat curam yang mencapai > 45 derajat dan dilingkupi oleh dataran tinggi. Jika terdapat kondisi lereng dengan kemiringan mencapai > 45 disertai dengan parameter atau faktor pendukung longsor seperti tutupan lahan, maka dapat meningkatkan potensi terjadinya longsor (Buchori & Susilo, 2012). Tutupan lahan seperti persawahan dan semak belukar, terkhususnya pada daerah yang memiliki kemiringan lereng yang curam, umumnya sering terjadi longsor.

Tutupan lahan pada area penelitian, banyak ditemukan kenampakan vegetasi berupa pepohonan yang tumbuh pada kemiringan lahan yang terjal, hingga menyebabkan besarnya daya penggerak tanah. Area persawahan memiliki akar kurang kokoh terhadap pengikatan butir tanah,



Gambar 9. Peta jenis batuan (geologi) area penelitian



Gambar 10. Peta rawan tanah longsor area penelitian

sehingga tanah menjadi lembek dan tidak mampu menyerap air yang berada pada permukaan tanah (jenuh air). Selain itu, muatan berat seperti bangunan pada lereng dan kendaraan akan menambah daya pendorong semakin besar, sehingga berpotensi terjadi longsor terutama pada tikungan jalan di daerah lembah. Kondisi tersebut menciptakan penurunan tanah dan retakan yang arahnya menuju lembah. Parameter longsor lainnya yakni sifat jenis tanah, sangat peka terhadap erosi. Tanah kambisol dan andosol merupakan jenis tanah yang relatif mudah memicu terjadinya longsor sesuai dengan karakteristik gerakan tanahnya (Priyono, 2015). Jenis batuan juga menjadi faktor internal penyebab terjadinya tanah longsor selain jenis tanah. Apabila tingkat pelapukan yang dialami oleh suatu batuan tinggi ataupun bersifat lunak secara fisik, maka akan mudah remuk oleh air sehingga mempengaruhi kestabilan lereng hingga menyebabkan longsor.

Tabel 17. Keterangan hasil peta rawan tanah longsor

No	Kategori longsor	Luas (ha)	Persentase
1	Rendah	3.64	8.71%
2	Sedang	14.5	34.68%
3	Tinggi	20.3	48.55%
4	Sangat Tinggi	3.37	8.06%
Total		41.8	100%

Tabel 18. Uji validasi peta rawan tanah longsor

Titik	Koordinat X	Koordinat Y	Kondisi lapangan	Akurasi
A	649292.235	9129429.845	Sesuai dengan Ciri Kerawanan Tinggi	Akurat
B	649284.7737	9129115.335	Tidak sesuai dengan ciri kerawanan Tinggi	Tidak Akurat
C	649138.5332	9129318.972	Sesuai dengan Ciri Kerawanan Tinggi	Akurat
D	649149.0718	9129105.367	Sesuai dengan Ciri Kerawanan Sangat Tinggi	Akurat

3.9. Uji Validitas Peta Rawan Tanah Longsor

Uji validitas peta rawan tanah longsor di Desa Pandansari, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang menggunakan teknik *accurassion assessment*. Teknik tersebut dilakukan pada hasil peta rawan tanah longsor yang dibuat dengan titik uji hasil pengamatan lapangan. Titik uji kemudian dilakukan survei terhadap titik-titik faktual di lapangan. Kriteria dalam pengujian titik rawan tanah longsor adalah memperhatikan pada daerah dengan kemiringan lereng yang terjal, area vegetasi yang terdapat pada area kemiringan terjal, tingkat curah hujan, serta jenis tanah dan jenis batuan yang terdapat pada area yang ditinjau. Titik uji dibuat sebanyak 90 titik, kemudian dilakukan survei terhadap titik-titik faktual di lapangan. Dari 90 titik tersebut terdapat 75 titik uji yang terbukti akurat. Tabel 18 merupakan salah satu data yang dicocokkan dari titik uji pada peta dengan di lapangan. Berdasarkan hasil perhitungan pada Persamaan 7, didapatkan nilai persentase uji validitas sebesar 83%.

Hasil perolehan nilai persentase dari uji validitas terhadap peta daerah rawan tanah longsor berdasarkan ketetapan dari National Park Service Vegetation Inventory (2011) termasuk akurat karena nilai yang dihasilkan adalah $\geq 80\%$. Uji validitas peta rawan tanah longsor juga menunjukkan area penelitian cukup sesuai dengan riwayat terjadinya bencana tanah longsor berdasarkan data kejadian bencana tanah longsor oleh Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Malang yaitu terjadi longsor yang diakibatkan oleh peristiwa hujan lebat pada lahan tebing yang terjal pada awal Tahun 2020 dan pada dokumen kajian risiko bencana Desa Pandansari yang menunjukkan, bahwa dalam kurun waktu 12 tahun terakhir mengalami beberapa bencana, salah satunya adalah tanah longsor.

3.10. Keunggulan dan Kekurangan Teknologi UAV Untuk Kajian Longsor

Akuisisi data menggunakan teknologi UAV merupakan salah satu teknik pengambilan data yang tidak memerlukan kontak langsung terhadap objek. Dengan teknik tersebut, UAV memiliki kelebihan dalam melakukan pengukuran yakni dapat memasuki akses yang sulit dijangkau jika menggunakan pengukuran topografi darat tidak memungkinkan. Akuisisi data menggunakan UAV memungkinkan untuk mengumpulkan data dalam jumlah besar dalam waktu singkat. Hasil data yang diperoleh memiliki resolusi spasial yang tinggi sehingga kesalahan dalam mengidentifikasi objek dapat diminimalisir. Sedangkan kelemahan dalam penggunaan UAV meliputi hasil ukuran tidak dapat diperoleh secara langsung sehingga tidak dapat mengontrol kesalahan secara langsung dan cepat, mengingat perlu dilakukan pengolahan pada data serta evaluasi.

4. KESIMPULAN

DTM presisi yang diperoleh dari akuisisi data menggunakan UAV disertai dengan penggunaan penghalusan permukaan dengan metode semi-otomatis *filtering*, memperoleh hasil RMSE(z) sebesar 0.49 meter. Dari hasil perhitungan RMSE(z), nilai ketelitian vertikal yang diuji dengan tingkat kepercayaan 90% (LE90) memperoleh nilai sebesar 0.81 meter. Nilai yang dihasilkan tersebut memenuhi pada skala 1:2500 di kelas 2 sesuai dengan standar ketelitian geometri peta dasar BIG No.15 Tahun 2014 (SNI 8022:2019). Nilai jarak tersebut menunjukkan bahwa, perbedaan antara nilai elevasi objek di peta dengan nilai elevasi sebenarnya di lapangan lebih kecil dari jarak 1 meter.

Peta rawan tanah longsor dari hasil analisa *overlay* DTM presisi dengan parameter longsor tutupan lahan, curah hujan, jenis tanah, dan jenis batuan, terbagi menjadi empat kelas dengan area yang paling didominasi oleh tingkat kerawanan longsor klasifikasi tinggi dengan luas area sebesar 20.3 ha (48.55%). Hasil uji validasi terhadap peta rawan tanah longsor Desa Pandansari, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang dengan menggunakan metode *accuration assessment* memperoleh persentase sebesar 83%. Penggunaan DTM presisi dari fotogrametri UAV yang diintegrasikan dengan data geospasial menggunakan sistem informasi geografis secara efektif sangat membantu mengidentifikasi daerah-daerah yang rawan bencana tanah longsor karena DTM presisi memiliki resolusi yang tinggi sehingga dapat menghasilkan cerminan dari kondisi topografi daerah rawan longsor dengan tepat.

5. REFERENSI

- Abdurrahman, A., Budipraja, M. A., Khoirullah, N., Helmi, F., & Sophian, R. I. (2020). Brief communication: rapid assessment of landslide events based on UAV photogrametry: The 9 January 2021 Cimanggung Landslide, Sumedang, Indonesia. *Journal of Geological Sciences and Applied Geology*, 4(2), 19–25.
- Abidin, H. Z. (2000). Penentuan Posisi Dengan GPS dan Aplikasinya.
- Afif, H. A., Saraswati, R., & Hernina, R. (2019). UAV application for landslide mapping in Kuningan Regency, West Java. *In E3S Web of Conferences* (Vol. 125, p. 03011). EDP Sciences. doi: 10.1051/e3sconf/201912503011.
- Azeriansyah, R., Prasetyo, Y., & Yuwono, B. D. (2017). Analisis Identifikasi Dampak Bencana Tanah Longsor dengan Menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) (Studi Kasus: Kelurahan Ngesrep, Kecamatan Banyumanik). *Jurnal Geodesi Undip*, 6(4), 474-484.
- BIG (2020). Peraturan Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2020 Tentang Standar Pengumpulan Data Geospasial Dasar Untuk Pembuatan Peta Dasar Skala Besar. *BIG*, 53(9), 1689–1699.
- Buchori, I., & Susilo, J. (2012). Model keruangan untuk identifikasi kawasan rawan longsor. *Tataloka*, 14(4), 282-294.
- 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>
- Chandler, C. C. (1989). Specific retroactive interference in modified recognition tests: Evidence for an unknown cause of interference. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15(2), 256–265. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.15.2.256>
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Chapter 3 Landslide Types And Processes. *Landslides: Investigation And Mitigation*, Transportation Research Board Special Report 247, Washington D.C., Bell 1992, 36–75.
- Du, Y., Wan, L., Li, X., Yan, G., Liu, S., Qi, S., & Lu, T. (2021). High-precision DEM extraction by region segmentation-based progressive triangulation encryption filtering. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(6), 1-12. <https://doi.org/10.1007/S12517-021-06635-0>
- Hasibuan, H. C., & Rahayu, S. (2017). Kesesuaian Lahan Permukiman pada Kawasan Rawan Bencana Tanah Longsor di Kabupaten Temanggung. *Teknik PWK (Perencanaan Wilayah Kota)*, 6(4), 242-256.
- Julzarika, A., & Sudarsono, B. (2009). Penurunan Model Permukaan Dijital (DSM) Menjadi

- Model Elevasi Dijital (DEM) dari Citra Satelit Alos Palsar (Studi Kasus: NAD Bagian Tenggara, Indonesia). *Teknik*, 30(1), 57-63.
- 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>
- Mahmudi. (2015). Analisis Ketelitian DEM ASTER GDEM, SRTM, Dan Lidar Untuk Identifikasi Area Pertanian Tebu Berdasarkan Parameter Kelerengan (Studi Kasus: Distrik Tubang, Kabupaten Merauke, Provinsi Papua (Doctoral dissertation, Universitas Diponegoro).
- National Park Service Vegetation Inventory (2011) "Vegetation Inventory Project."
- Pardo, C. N., Sabri, L., & Awwaluddin, M. (2019). Analisis Akurasi Model 3 Dimensi Bangunan Dari Foto Secara Tegak Dan Miring (Studi Kasus : Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro). *Jurnal Geodesi UNDIP*, 9(1), 354-363. Retrieved from <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/26181>
- Priyono. (2015). Hubungan Klasifikasi Longsor, Klasifikasi Tanah Rawan Longsor Dan Klasifikasi Tanah Pertanian Rawan Longsor. *Gema*, 27(49), 1602-1617.
- 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 Geografis." Bogor.
- Selaby, S., Kusratmoko, E., & Rustanto, A. (2021). Landslide Susceptibility in Majalengka Regency, West Java Province. In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science* 884(1), p. 012053. IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/884/1/012053.
- Shofiyanti, R. (2011). Teknologi pesawat tanpa awak untuk pemetaan dan pemantauan tanaman dan lahan pertanian. *Informatika Pertanian*, 20(2), 58-64.
- Veihe, A. (2002). The spatial variability of erodibility and its relation to soil types: a study from northern Ghana. *Geoderma*, 106(1-2), 101-120.