



Pemetaan Kerawanan Tanah Longsor pada Lahan Pertanian di Dusun Sambak 1, Desa Sambak, Magelang, Jawa Tengah

Landslide Susceptibility Mapping of Agricultural Land in Sambak 1 Hamlet, Sambak Village, Magelang, Central Java, Indonesia

Ni Made Julita Dea Ananda¹, Sumiyati^{1,*}, Ngadisih², Ni Nyoman Sulastri¹, I Putu Wahyu Adipratama¹, dan I Gd Agus Adithya Wira Pranata¹

¹Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia

²Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

ABSTRAK

Pemetaan kerawanan tanah longsor pada lahan pertanian merupakan upaya mitigasi pra-bencana yang penting, khususnya pada wilayah dengan kondisi topografi bergelombang hingga curam seperti Dusun Sambak 1, Desa Sambak, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan tingkat kerawanan tanah longsor pada lahan pertanian sebagai dasar informasi dalam perencanaan penggunaan lahan yang lebih aman. Metode yang digunakan memanfaatkan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan mengolah data *Digital Elevation Model* (DEM) dan orthomosaik hasil ekstraksi foto udara wahana tanpa awak (*drone*). Parameter topografi yang dianalisis meliputi kemiringan lereng, arah hadap lereng, dan kelengkungan lereng, yang kemudian diintegrasikan melalui metode *weighted overlay* berbasis pembobotan empiris *Frequency Ratio* (FR). Hasil analisis spasial menunjukkan bahwa secara keseluruhan wilayah Dusun Sambak 1 didominasi oleh kelas kerawanan sedang. Namun demikian, temuan krusial menunjukkan bahwa kebun campur merupakan kategori lahan pertanian yang paling terancam pada zona kerawanan tinggi dengan total luasan mencapai 2,99 ha, angka ini jauh melampaui luasan lahan kering (0,17 ha) dan lahan basah (0,13 ha). Peta kerawanan yang dihasilkan ini menjadi instrumen penting bagi pemerintah dan masyarakat setempat dalam merencanakan tata guna lahan yang berkelanjutan, khususnya sebagai dasar penerapan mitigasi terintegrasi melalui model agroforestri multistrata, penanaman rumput akar wangi (*vetiver*), serta optimalisasi terasering dan drainase.

Kata Kunci: *drone*, Dusun Sambak 1, lahan pertanian, sistem informasi geografis, tanah longsor.

ABSTRACT

Landslide susceptibility mapping on agricultural land is an important pre-disaster mitigation effort, particularly in areas with undulating to steep topographic conditions such as Sambak 1 Hamlet, Sambak Village, Magelang Regency, Central Java. This study aims to map the level of landslide susceptibility on agricultural land as a basis for safer land-use planning. The method utilizes Geographic Information System (GIS) technology by processing Digital Elevation Model (DEM) and orthomosaic data extracted from unmanned aerial vehicle (UAV/drone) imagery. The topographic parameters analyzed include slope, aspect, and curvature, which were subsequently integrated using the weighted overlay method based on empirical Frequency Ratio (FR) weighting. Spatial analysis results indicate that, overall, Sambak 1 Hamlet is dominated by the moderate susceptibility class. However, a crucial finding reveals that mixed gardens are the most threatened agricultural land category in the high susceptibility zone, covering a total area of 2.99 ha, far exceeding dry land (0.17 ha) and wet land (0.13 ha). The resulting susceptibility map serves as an essential instrument for local governments and communities in planning

***Corresponding author: Sumiyati**

Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia. Email: sumiyati@unud.ac.id

Masuk: 16 April 2026; **Direvisi:** 21 September 2026; **Diterima:** 21 September 2026; **Terbit:** 21 September 2026;

sustainable land use, particularly as a basis for implementing integrated mitigation measures through multistrata agroforestry models, vetiver grass planting, as well as the optimization of terracing and drainage.

Keywords: *agricultural land, drone, geographic information system, landslide, Sambak 1 Hamlet.*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan wilayah yang sangat rentan terhadap bencana hidrometeorologi, khususnya tanah longsor, yang tren kejadiannya terus meningkat setiap tahun akibat dinamika perubahan iklim dan cuaca (Madani et al., 2023). Tingginya kerentanan ini secara fundamental dikontrol oleh posisi tatanan tektonik Indonesia yang membentuk topografi perbukitan terjal, struktur patahan, serta dominasi material batuan vulkanik yang sangat sensitif terhadap pelapukan. Karakteristik bentang alam tersebut menjadi semakin tidak stabil ketika terpapar intensitas curah hujan yang tinggi pada iklim tropis basah (Agustin et al., 2024; Wijaya et al., 2024). Di samping faktor-faktor alamiah tersebut, masifnya alih fungsi tutupan lahan dan degradasi lingkungan oleh aktivitas manusia terbukti memberikan kontribusi besar dalam mempercepat pelapukan dan memicu pergerakan massa tanah secara meluas (Prawira, 2024).

Dalam konteks lokal, Desa Sambak terletak pada zona transisi antara gunung api muda (Gunung Sumbing) dan gunung api tua (Pegunungan Menoreh) yang dicirikan oleh keberadaan material endapan tanah tebal yang berlapis-lapis (Wibawanti et al., 2023). Secara geologi dan geoteknik, material endapan vulkanik di kawasan beriklim tropis basah ini rentan mengalami pelapukan geokimia yang intensif. Proses pelapukan ini mengubah struktur mineral batuan menjadi mineral lempung yang berdampak pada penurunan kohesi, peningkatan plastisitas, dan melemahnya kuat geser tanah (Zaenurrohman et al., 2025). Selain itu, desa ini beriklim tipe C (agak basah) dan memiliki topografi pegunungan pada ketinggian 438–750 MDPL. Dengan luas wilayah administratif mencapai 361,83 ha, sebagian besar area ini didominasi oleh aktivitas lahan pertanian. Kondisi iklim mikro di wilayah ini menunjukkan fluktuasi suhu udara antara 20°C hingga 30°C dengan curah hujan rata-rata sebesar 124 mm/bulan, di mana curah hujan tertingginya dapat mencapai 2.987 mm/tahun (Zulkarnaen, 2020). Intensitas curah hujan yang tinggi ini bertindak sebagai pemicu hidrologis dominan; infiltrasi air hujan ke dalam tanah vulkanik yang telah melapuk akan meningkatkan tekanan air pori secara drastis sehingga memicu terjadinya pergerakan massa tanah (Zaenurrohman et al., 2025). Masyarakat Desa Sambak sangat bergantung pada keberadaan lahan pertanian yang terdiri atas lahan basah, kering, dan kebun campur (Wibawanti et al., 2023; Zulkarnaen, 2020).

Secara geomorfologis, kerawanan tanah longsor umumnya terjadi pada wilayah dengan kemiringan lereng curam, adanya bidang luncur kedap air, serta tingginya volume infiltrasi air tanah (Budianta, 2020; Liu et al., 2018; Naryanto et al., 2019). Selain faktor topografi, parameter iklim berupa curah hujan, serta kondisi biofisik seperti jenis tanah dan tutupan tata guna lahan juga merupakan faktor pengontrol utama yang sangat menentukan tingkat kestabilan lereng. Intensitas curah hujan yang tinggi secara mutlak menjadi pemicu paling dominan terhadap pergerakan massa tanah di daerah rentan (Luntungan et al., 2024). Di samping itu, kondisi fisik lingkungan seperti jenis tanah serta faktor manajemen manusia berupa tingkat keterbukaan tata guna lahan terbukti memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap penurunan stabilitas lereng (Madani et al., 2023). Namun demikian, pada pemodelan spasial berskala mikro di Dusun Sambak 1, parameter curah hujan dan jenis tanah merupakan batasan riset yang tidak dimasukkan ke dalam skoring karena karakteristiknya yang homogen. Menurut Nugroho & Nugroho (2020), parameter yang hanya memiliki satu kelas dalam suatu wilayah kajian tidak akan memberikan dampak berarti terhadap keberagaman zona kerawanan yang dihasilkan.

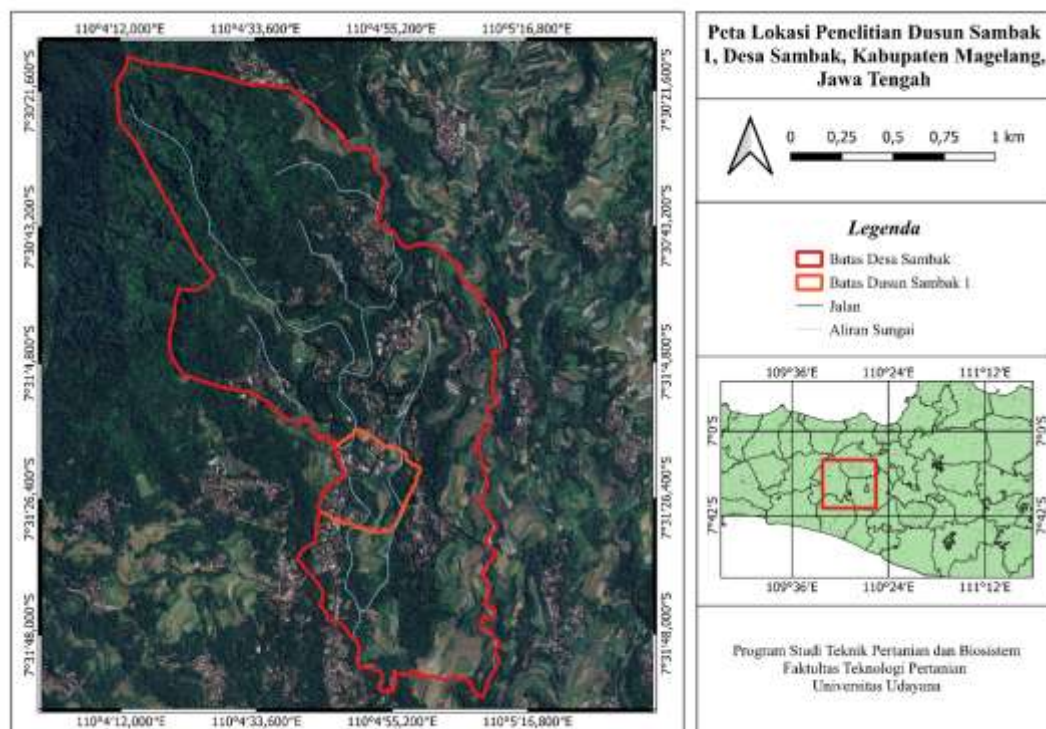
Oleh karena itu, penelitian ini membatasi fokus pemodelan pada parameter morfometri topografi yang memiliki keragaman spasial tinggi di Dusun Sambak 1. Pemilihan fokus pada parameter topografi meliputi kemiringan lereng (*slope*), arah hadap lereng (*aspect*), dan kelengkungan lereng (*curvature*) dengan didasarkan pada kondisi topografi Desa Sambak yang berlereng curam serta posisinya yang berada pada zona transisi vulkanik (Wibawanti et al., 2023). Berdasarkan studi

Misbahudin (2020), ketiga parameter ini saling berinteraksi secara keruangan; di mana kemiringan mengontrol gaya gravitasi, arah hadap mengontrol pelapukan akibat radiasi matahari, dan kelengkungan mengontrol pola akumulasi air pada tanah. Relevansi penggunaan ketiga parameter fisik ini juga telah divalidasi oleh penelitian terdahulu di wilayah Desa Sambak oleh Wibawanti et al. (2023). Dengan memanfaatkan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG), ketiga parameter tersebut diekstraksi dari data *Digital Elevation Model* (DEM) dan orthomosaik (citra foto udara resolusi tinggi) untuk menghasilkan peta kerawanan longsor. Pada akhirnya, pemetaan kerawanan secara spasial ini menjadi instrumen mitigasi pra-bencana yang sangat esensial sebagai dasar perencanaan tata guna lahan sekaligus menjaga keberlanjutan lahan pertanian di Dusun Sambak 1. Penelitian terdahulu oleh Wibawanti et al. (2023) telah memetakan kerawanan longsor pada skala Desa Sambak dengan mempertimbangkan berbagai tutupan lahan, termasuk pertanian lahan kering, sawah, kebun campur, hutan, semak, dan tanah terbuka. Penelitian ini memperluas kajian tersebut melalui pemetaan pada skala spasial yang lebih mikro, yaitu Dusun Sambak 1, dengan fokus khusus pada lahan pertanian. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi distribusi kerawanan yang lebih spesifik terhadap kondisi topografi pada ruang produksi pertanian dan memberikan informasi spasial yang lebih terarah untuk mendukung pengelolaan serta mitigasi longsor pada lahan pertanian.

METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat pelaksanaan penelitian ini dilaksanakan pada dua lokasi. Lokasi untuk pengambilan data dilaksanakan di Dusun Sambak 1, Desa Sambak, Kecamatan Kajoran, Magelang, Jawa Tengah, Indonesia. Kemudian, lokasi untuk pengolahan data yaitu di Pusat Studi Bencana (PSBA) Universitas Gadjah Mada yang berlokasi di Jl. Mahoni Bulaksumur No. C-16, Sagan, Caturtunggal, Kecamatan Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 5528. Waktu pelaksanaan penelitian ini dimulai dari 14 Juli 2025 sampai 25 Agustus 2025.

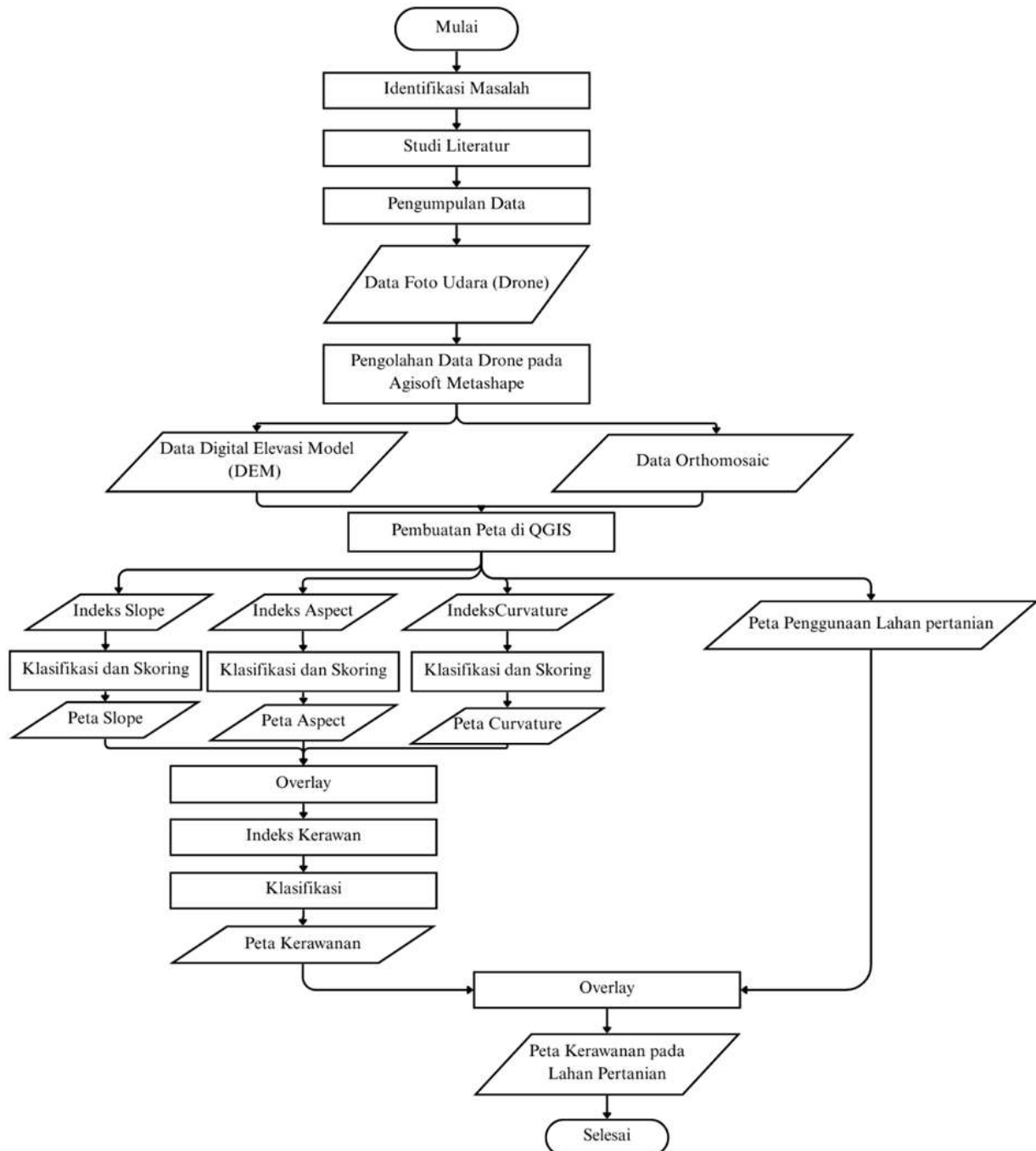


Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Diagram Alir

Pelaksanaan penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan utama, yaitu tahap persiapan, akuisisi data primer berupa foto udara menggunakan wahana *drone*, pengolahan *Digital Elevation Model* (DEM)

untuk mengekstraksi parameter morfometri (kemiringan lereng, arah hadap lereng, dan kelengkungan), serta tahap analisis spasial menggunakan metode tumpang susun berbobot (*weighted overlay*). Alur kerja spasial ini dirancang secara sistematis untuk memastikan keakuratan dalam integrasi seluruh parameter, sehingga peta kerawanan tanah longsor yang dihasilkan menjadi valid dan representatif. Ringkasan dari keseluruhan prosedur analisis pada penelitian ini disajikan pada diagram alir (Gambar 2).



Gambar 2. Diagram alir pembuatan peta kerawanan longsor pada lahan pertanian

Alat dan Bahan

Adapun alat yang diperlukan pada penelitian ini diantaranya *drone* DJI Mavic Pro untuk memperoleh data citra udara. Kemudian untuk mengolah data menggunakan *software* Agisoft Metashape Pro, QGIS 3.18.1, laptop ASUS Vivobook dengan spesifikasi windows 11 dilengkapi processor AMD Ryzen 5, RAM 16 GB, serta alat lainnya seperti *smartphone* dan alat tulis. Adapun bahan yang digunakan

dalam penelitian ini adalah data DEM dan data orthomosaik yang didapat dari hasil pengolahan foto udara menggunakan *software Agisoft Metashape*.

Tahapan Pelaksanaan

Penelitian ini diawali dengan studi literatur melalui kajian buku, jurnal, dan penelitian sebelumnya yang relevan. Selanjutnya ditentukan parameter penelitian yang meliputi kemiringan lereng, arah hadap lereng, kelengkungan, dan penggunaan lahan pertanian. Tahap berikutnya adalah observasi lapangan untuk mengetahui kondisi topografi aktual wilayah penelitian.

Pada tahapan ini, pemotretan tidak dilakukan menggunakan metode pengambilan titik sampel, melainkan mencakup 100% luasan wilayah studi. Area liputan foto udara didasarkan pada penetapan target poligon batas administratif Dusun Sambak 1 secara utuh, yang mencapai luas keseluruhan 15,40 ha. Secara teknis, penentuan area pemotretan ini dilakukan dengan membuat rencana jalur terbang (*flight plan*) menggunakan sistem navigasi otomatis, yang dirancang agar seluruh foto saling bertampalan (*overlap*) untuk menutupi seluruh luasan dusun (Naryanto et al., 2019). Strategi pemotretan menyeluruh ini wajib dilakukan agar seluruh wilayah penelitian dapat terekstraksi menjadi *Digital Elevation Model* (DEM) dan orthomosaik yang kontinu dan representatif.

Pengolahan Data Foto Udara

Data yang diperoleh dari hasil foto udara kemudian diolah menggunakan perangkat lunak *Agisoft Metashape Pro* untuk menghasilkan data primer berupa DEM (*Digital Elevation Model*) dan ortomosaik yang digunakan dalam pembuatan peta kerawanan pada lahan pertanian. Secara teknis, orthomosaik merupakan citra tegak gabungan dari serangkaian foto udara drone yang telah melalui tahapan pemrosesan dan koreksi geometrik menggunakan perangkat lunak fotogrametri, sehingga menghasilkan tampilan visual dengan skala yang seragam layaknya sebuah peta dasar (Naryanto et al., 2019). DEM dan orthomosaik yang diekstraksi tersebut memiliki resolusi spasial yang cukup detail, yakni sebesar 0,21 meter. Pada proses akuisisi data ini, pencatatan posisi sepenuhnya mengandalkan sistem navigasi GPS bawaan pada *drone* tanpa melibatkan penggunaan *Ground Control Points* (GCP) di lapangan. Oleh karena itu, tingkat akurasi geometrik maupun vertikal dari data yang dihasilkan belum diuji secara kuantitatif, sehingga masih memiliki potensi deviasi spasial. Meskipun demikian, untuk kebutuhan pemodelan tematik berskala lokal seperti pemetaan tingkat kerawanan longsor ini, resolusi dan akurasi relatif yang dihasilkan oleh sistem navigasi bawaan drone tersebut dinilai sudah sangat memadai untuk merepresentasikan variasi topografi aktual secara proporsional (Naryanto et al., 2019; Purwaningsih et al., 2020). Data DEM yang sudah diperoleh dengan resolusi tersebut kemudian diolah di *QGIS* menjadi peta kemiringan lereng (*Slope*), peta arah hadap lereng (*Aspect*) dan peta kelengkungan (*Curvature*). Data orthomosaik yang sudah didapat juga akan diolah di *QGIS* menjadi peta penggunaan lahan pertanian.

Klasifikasi Kemiringan Lereng

Klasifikasi merupakan suatu proses pengelompokan data berupa nilai menjadi beberapa kelas dan kategori supaya mudah untuk dibaca dan dipahami. Pada penelitian ini kemiringan lereng dibagi menjadi lima kelas. Klasifikasi kemiringan lereng dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Klasifikasi kemiringan lereng

Kelas (%)	Keterangan
< 8%	Datar
≥ 8% – 15%	Landai
> 15% – 25%	Agak Curam
> 25% – 45%	Curam
> 45%	Sangat Curam

Sumber: Aldiansyah & Adi Wibowo, (2022); Madani et al. (2023)

Klasifikasi Kelengkungan

Pada penelitian ini kelengkungan dibagi menjadi tiga kelas. Klasifikasi kelengkungan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Klasifikasi kelengkungan

Kelas	Keterangan
$< (-0,05)$	Datar
$(-0,05) - (0,05)$	Landai
$> (0,05)$	Agak Curam

Sumber: Abdo et al. (2022)

Klasifikasi Arah Hadap Lereng

Pada penelitian ini arah hadap lereng dibagi menjadi sembilan kelas. Klasifikasi arah hadap lereng menggunakan satuan derajat dengan sudut 0° – 360° yang dimulai dari utara kemudian berjalan searah dengan jarum jam. Klasifikasi ini dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Klasifikasi arah hadap lereng

Derajat	Keterangan
0 – 22,5	Utara
22,5 – 67,5	Timur Laut
67,5 – 112,5	Timur
112,5 – 157,5	Tenggara
157,5 – 202,5	Selatan
202,5 – 247,5	Barat Daya
247,5 – 292,5	Barat
292,5 – 337,5	Barat Laut
337,5 – 360	Utara

Sumber: Wubalem (2021)

Skoring Kemiringan Lereng

Skoring merupakan sebuah metode pemberian nilai (skor) untuk masing-masing parameter yang digunakan, sehingga dapat mengetahui berapa nilai yang memiliki pengaruh besar terhadap tanah longsor. Kemiringan Lereng pada penelitian ini menggunakan lima kelas yang masing-masing kelas akan dilakukan metode skoring seperti pada Tabel 4. Secara teoretis, semakin besar sudut kemiringan suatu lereng, maka gaya pendorong (berupa gaya gravitasi) yang bekerja pada massa tanah akan semakin membesar dan berpotensi melampaui gaya penahannya, sehingga lereng menjadi sangat tidak stabil dan rentan memicu terjadinya longsor (Naryanto et al., 2019; Sulistio et al., 2020).

Tabel 4. Skor kemiringan lereng

Kelas	Keterangan	Skor
$< 8\%$	Datar	1
$\geq 8\% - 15\%$	Landai	2
$> 15\% - 25\%$	Agak Curam	3
$> 25\% - 45\%$	Curam	4
$> 45\%$	Sangat Curam	5

Sumber: Luntungan et al. (2024)

Skoring Kelengkungan

Kelengkungan pada penelitian ini menggunakan tiga kelas yang masing-masing kelas diberikan skor yang tersaji pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Skor kelengkungan

Kelas	Keterangan	Skor
< (-0,05)	Cembung	1
(-0,05) – (0,05)	Datar	2
> 0,05	Cekung	3

Sumber: Abdo et al. (2022)

Skoring Arah Hadap Lereng

Arah hadap lereng (*aspect*) pada penelitian ini dibagi menjadi sembilan kelas orientasi mata angin yang kemudian masing-masing kelas diberi skor. Penetapan skor ini didasarkan pada nilai *Frequency Ratio* (FR) dari pemodelan kejadian longsor di wilayah Desa Sambak oleh Wibawanti et al. (2023). Lereng yang menghadap ke arah timur dan tenggara diberikan skor tertinggi karena memiliki frekuensi kejadian longsor yang paling tinggi (Wibawanti et al., 2023). Lereng yang menghadap ke timur dan tenggara cenderung menerima radiasi matahari yang cukup tinggi pada pagi hingga siang hari, sehingga menyebabkan terjadinya fluktuasi suhu dan kelembapan yang lebih intens (Dea et al., 2026). Siklus basah-kering yang berulang ini mempercepat proses pelapukan fisik dan kimiawi pada batuan serta tanah, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap penurunan kohesi dan kestabilan lereng (Naseer et al., 2021). Arah dan pemberian skor dapat dilihat pada Tabel 6 berikut

Tabel 6. Skor arah hadap lereng

Derajat	Keterangan	Skor
0 – 22,5	Utara	0,55
22,5 – 67,5	Timur Laut	0,70
67,5 – 112,5	Timur	1,48
112,5 – 157,5	Tenggara	1,54
157,5 – 202,5	Selatan	0,91
202,5 – 247,5	Barat Daya	0,62
247,5 – 292,5	Barat	0,78
292,5 – 337,5	Barat Laut	0,79
337,5 – 360	Utara	0,50

Sumber: Wubalem (2021) dan Wibawanti et al. (2023)

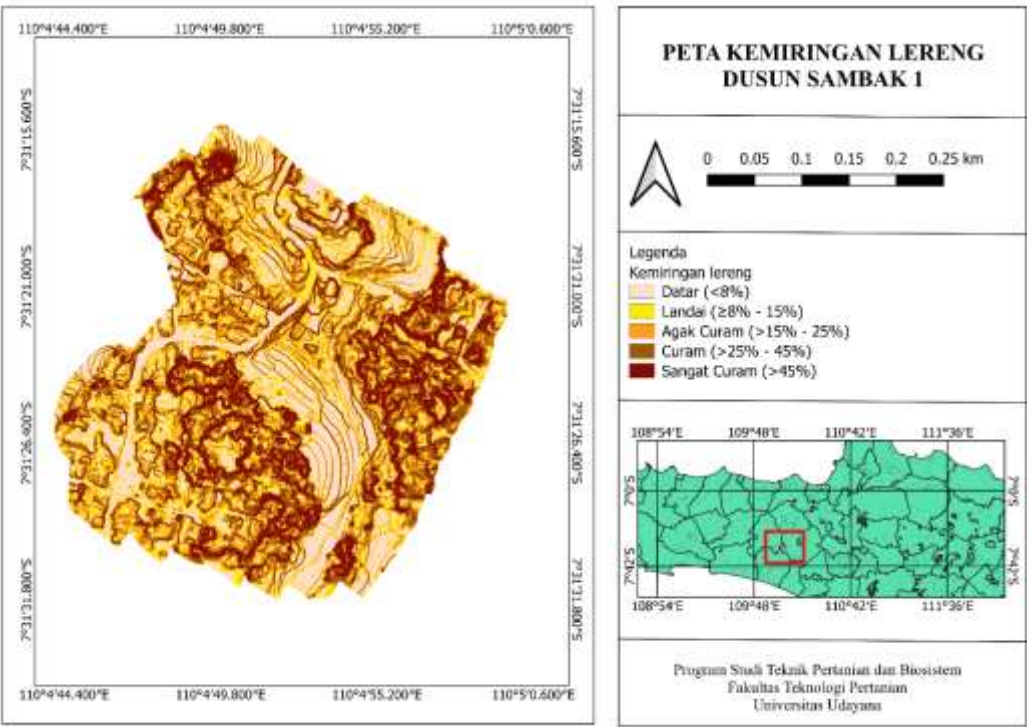
Overlay

Metode *weighted overlay* digunakan untuk mengintegrasikan beberapa parameter ke dalam satu model analisis spasial (Wijaya et al., 2024). Penelitian ini menggunakan tiga parameter utama, yaitu kemiringan lereng, arah hadap lereng, dan kelengkungan lereng. Total bobot keseluruhan adalah 100%, dengan rincian: 50% (0,5) untuk kemiringan lereng, 30% (0,3) untuk kelengkungan lereng, dan 20% (0,2) untuk arah hadap lereng. Penentuan hierarki bobot ini didasarkan pada kajian literatur yang menyatakan bahwa kemiringan lereng merupakan parameter paling dominan dan berpengaruh terhadap kejadian longsor; di mana semakin curam suatu lereng, maka gaya pendorongnya akan semakin membesar sehingga potensi longsor semakin tinggi (Aldiansyah & Adi Wibowo, 2022; Wijaya et al., 2024). Selanjutnya, parameter kelengkungan lereng (terutama bentuk cekung) memiliki pengaruh signifikan di urutan kedua karena memengaruhi pola akumulasi aliran air permukaan, sedangkan arah hadap lereng memiliki tingkat pengaruh paling rendah di wilayah tropis (Setiawan et al., 2018). Keputusan pembobotan ini juga didukung kuat oleh temuan empiris Safinatunnajah et al. (2025), yang membuktikan melalui metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) bahwa kemiringan lereng mutlak memiliki nilai bobot tertinggi, diikuti oleh kelengkungan lereng, dan bobot terendah pada arah hadap lereng. Proses *weighted overlay* dari ketiga parameter ini kemudian menghasilkan indeks kerawanan longsor yang diklasifikasikan untuk memperoleh peta zonasi kerawanan tanah longsor di lokasi penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peta Kemiringan Lereng (Slope)

Peta kemiringan lereng merupakan peta yang dihasilkan dari data *digital elevation model* (DEM) yang diolah melalui perangkat lunak QGIS. Peta ini memperlihatkan sebaran tingkat kemiringan lereng di Dusun Sambak 1, yang tersaji pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta kemiringan lereng Dusun Sambak 1

Peta di atas merupakan hasil pemetaan kemiringan lereng di Dusun Sambak 1 yang telah melalui tahapan skoring dan klasifikasi. Rincian persentase dan luasan untuk kelima kelas kemiringan lereng tersebut disajikan secara komprehensif pada Tabel 7. Berdasarkan data tersebut, hal yang patut menjadi perhatian utama adalah keberadaan kelas dengan kemiringan curam (>25%–45%) dan sangat curam (>45%). Secara teoretis, semakin curam sudut kemiringan lereng di suatu wilayah, maka gaya pendorong massa tanah akibat gravitasi akan semakin membesar, sehingga tingkat kerawanan bencana tanah longsornya pun menjadi semakin tinggi (Nurdika et al., 2024).

Tingkat kerawanan ini semakin diperparah oleh interaksi antara topografi curam dengan aktivitas tata guna lahan di lokasi penelitian yang didominasi oleh kawasan budidaya pertanian (Misbahudin, 2020). Aktivitas pengolahan tanah yang intensif pada lahan miring terbukti merusak struktur tanah dan secara drastis mengurangi kohesi perakaran yang berfungsi sebagai pengikat agregat tanah (Miao et al., 2025). Tanpa tutupan pepohonan berakar dalam yang memadai, tanah pada lereng curam akan kehilangan fungsi jangkar mekanisnya, sehingga tanah menjadi lebih gembur dan sangat rentan terhadap infiltrasi curah hujan (Rahayu & Syarifuddin, 2024). Air hujan yang meresap dengan cepat ke dalam area pertanian tersebut akan meningkatkan tekanan air pori secara drastis, menambah beban massa tanah, dan melampaui gaya penahannya, yang pada akhirnya memicu pergerakan massa tanah ke bawah lereng (Hidayat et al., 2023).

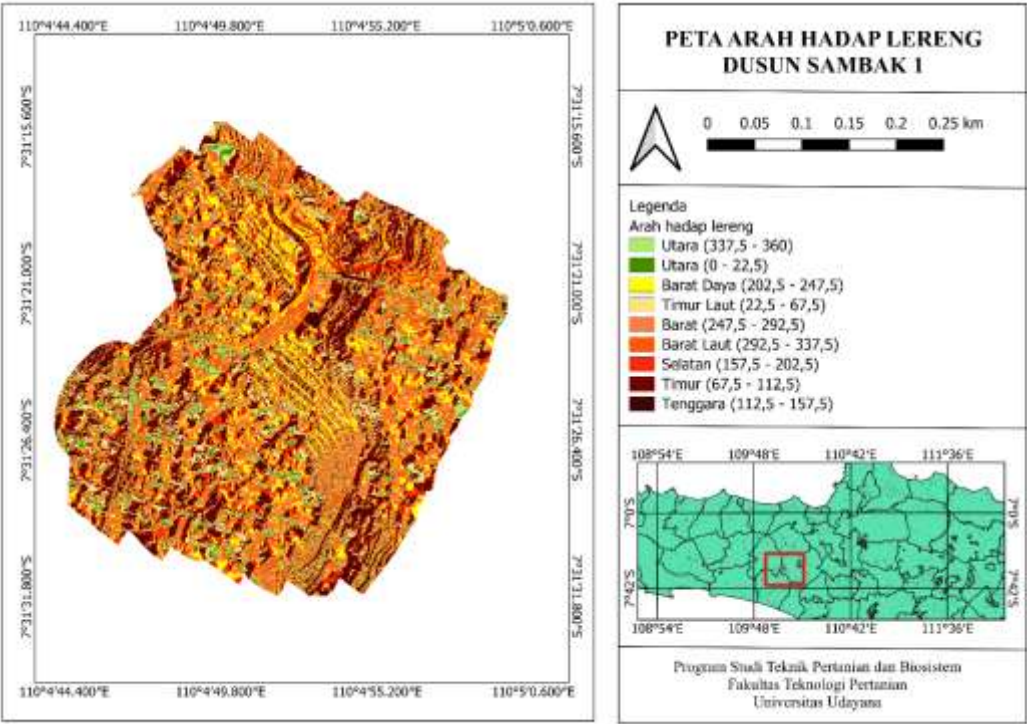
Tabel 7. Persentase dan luas kemiringan lereng

No	Klasifikasi Kelas	Luas (ha)	Persentase (%)
1.	Datar	3,6	23
2.	Landai	2,64	17
3.	Agak Curam	2,85	19

4.	Curam	3,57	23
5.	Sangat Curam	2,74	18
Luas Total		15,4	100

Peta Arah Hadap Lereng (Aspect)

Peta arah hadap lereng merupakan peta yang dihasilkan dari data *digital elevation model* (DEM) yang diolah melalui perangkat lunak *QGIS*. Peta ini menunjukkan bagaimana orientasi lereng terhadap arah mata angin yang ada di Dusun Sambak 1. Peta arah hadap lereng dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan data luasan pada Tabel 8, morfologi wilayah kajian menyebar secara fluktuatif di delapan arah mata angin, dengan luasan yang didominasi oleh lereng yang menghadap ke arah barat daya (2,16 ha atau 14%).



Gambar 4. Peta arah hadap lereng Dusun Sambak 1

Meskipun arah barat daya mendominasi secara luasan, tinjauan geodinamika menunjukkan bahwa fokus ancaman kerawanan longsor tertinggi justru terakumulasi pada lereng yang berorientasi ke arah timur dan tenggara. Berdasarkan pembobotan spasial, kedua arah hadap ini memiliki korelasi yang paling kuat terhadap kejadian longsor eksisting. Secara klimatologi dan geomorfologi, lereng yang menghadap ke timur dan tenggara cenderung menerima paparan radiasi matahari yang lebih intens dan dalam durasi yang lebih lama sejak pagi hingga siang hari. Kondisi insolasi ini memicu terjadinya fluktuasi suhu dan kelembapan tanah yang ekstrem (Naseer et al., 2021). Siklus basah-kering yang terjadi secara terus-menerus ini mempercepat proses pelapukan material vulkanik secara fisik maupun kimiawi (Wibawanti et al., 2023). Akibatnya, ikatan kohesi antarpartikel tanah menjadi lemah, sehingga lereng kehilangan daya ikat alamnya dan menjadi sangat rentan terhadap keruntuhan massa saat terjadi infiltrasi curah hujan yang tinggi.

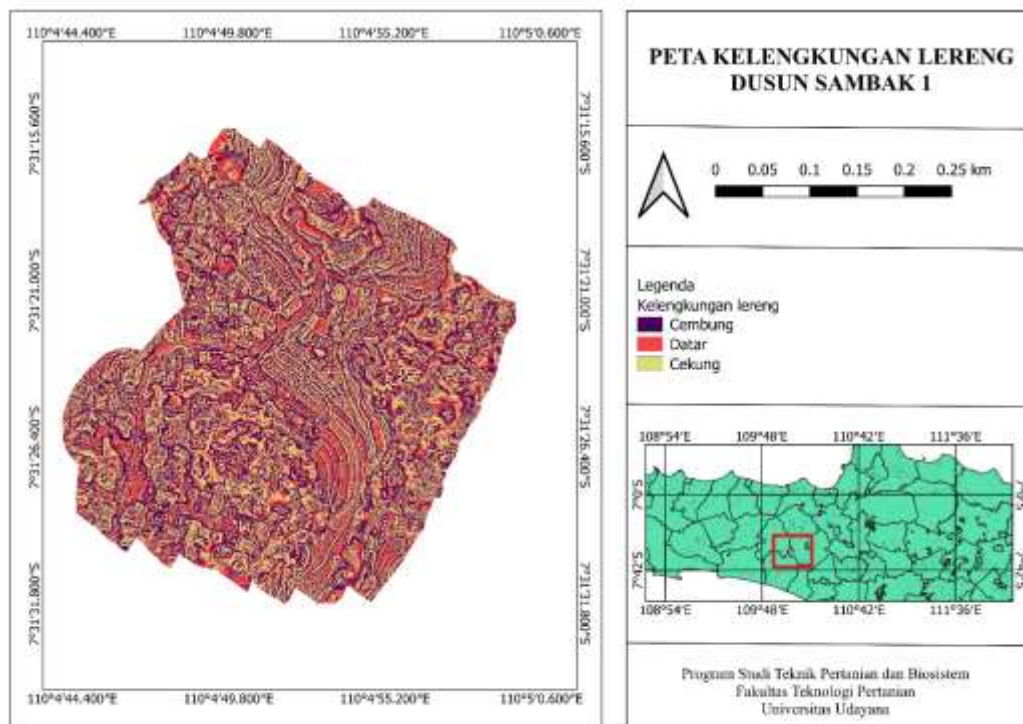
Tabel 8. Luasan arah hadap lereng

No	Klasifikasi Kelas	Luas (ha)	Persentase (%)
1.	Utara	1,59	10
2.	Timur Laut	1,80	12
3.	Timur	2,04	13
4.	Tenggara	1,95	13

5.	Selatan	2,02	13
6.	Barat Daya	2,16	14
7.	Barat	2,06	13
8.	Barat Laut	1,78	12
Luas Total		15,40	100

Peta Kelengkungan (Curvature)

Peta kelengkungan merupakan peta yang dihasilkan dari data *digital elevation model* (DEM) yang diolah melalui perangkat lunak QGIS. Peta kelengkungan menunjukkan sebaran bentuk lereng yang ada di Dusun Sambak 1. Peta kelengkungan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta kelengkungan lereng Dusun Sambak 1

Peta di atas merupakan hasil pemetaan kelengkungan yang sudah dilakukan skoring dan klasifikasi. Daerah yang memiliki permukaan cekung dapat menyebabkan akumulasi air yang lebih tinggi, tekanan air pori dalam tanah meningkat dan kestabilan tanah menurun sehingga memiliki potensi yang tinggi terhadap kerawanan longsor (Safinatunnajah et al., 2025). Luasan dan persentase dapat dilihat pada Tabel 9. Pada penelitian ini jika dilihat berdasarkan luasan masing-masing kelas. Kelengkungan yang mendominasi di Dusun Sambak 1 adalah kelengkungan cembung dengan luas 5,86 ha atau persentasenya 38%.

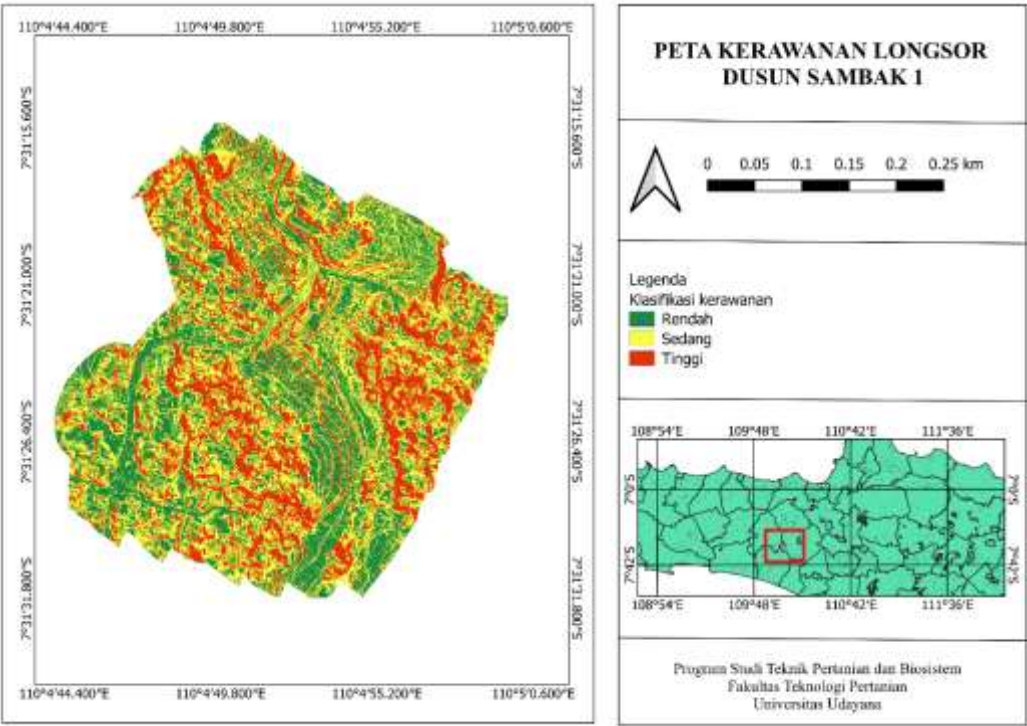
Tabel 9. Luasan kelengkungan lereng

No	Klasifikasi Kelas	Luas (ha)	Persentase (%)
1.	Cembung	5,86	38
2.	Datar	3,87	25
3.	Cekung	5,67	37
Luas Total		15,4	100

Peta Kerawanan Longsor di Dusun Sambak 1

Peta Kerawanan Longsor (Gambar 6) merepresentasikan akumulasi spasial dari tingkat ancaman pergerakan massa tanah di Dusun Sambak 1. Peta ini dihasilkan melalui proses integrasi (*weighted*

overlay) dari tiga parameter morfometri, yaitu kemiringan lereng, arah hadap lereng, dan kelengkungan lereng.



Gambar 6. Peta kerawanan longsor di Dusun Sambak 1

Berdasarkan nilai indeks yang dihasilkan, wilayah kajian diklasifikasikan menjadi tiga zona ancaman, yakni kelas rendah (skor $\leq 2,5$), sedang (skor $2,6-3,6$), dan tinggi (skor $\geq 3,7$) sebagaimana disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Klasifikasi kerawanan

Kelas	Keterangan
$\leq 2,5$	Rendah
$2,6 - 3,6$	Sedang
$\geq 3,7$	Tinggi

Sumber: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (2006) dalam Nurdika et al. (2024)

Rincian distribusi luasan untuk masing-masing kelas kerawanan hasil *overlay* disajikan secara komprehensif pada Tabel 11. Berdasarkan data tersebut, wilayah Dusun Sambak 1 secara umum didominasi oleh kelas kerawanan sedang seluas 6,2 ha (40%), diikuti oleh kelas kerawanan rendah seluas 5,1 ha (33%). Meskipun demikian, keberadaan kelas kerawanan tinggi yang mencakup luasan 4,1 ha (27%) merupakan temuan yang paling krusial. Secara geoteknik dan hidrologi, tingginya tingkat kerawanan pada zona merah tersebut merupakan manifestasi spasial dari tumpang susun parameter topografi yang saling bersinergi memperlemah stabilitas tanah (Safinatunnajah et al., 2025). Area tersebut berada pada lereng yang curam sehingga memperbesar gaya pendorong gravitasi (Naryanto et al., 2019), memiliki profil cekung yang memicu tingginya akumulasi infiltrasi air permukaan yang meningkatkan tekanan air pori (Hidayat et al., 2023), serta terpapar fluktuasi radiasi matahari akibat arah hadap timur dan tenggara yang memicu pelapukan tanah vulkanik secara intensif (Naseer et al., 2021; Zaenurrohman et al., 2025).

Tabel 11. Klasifikasi dan luas kerawanan

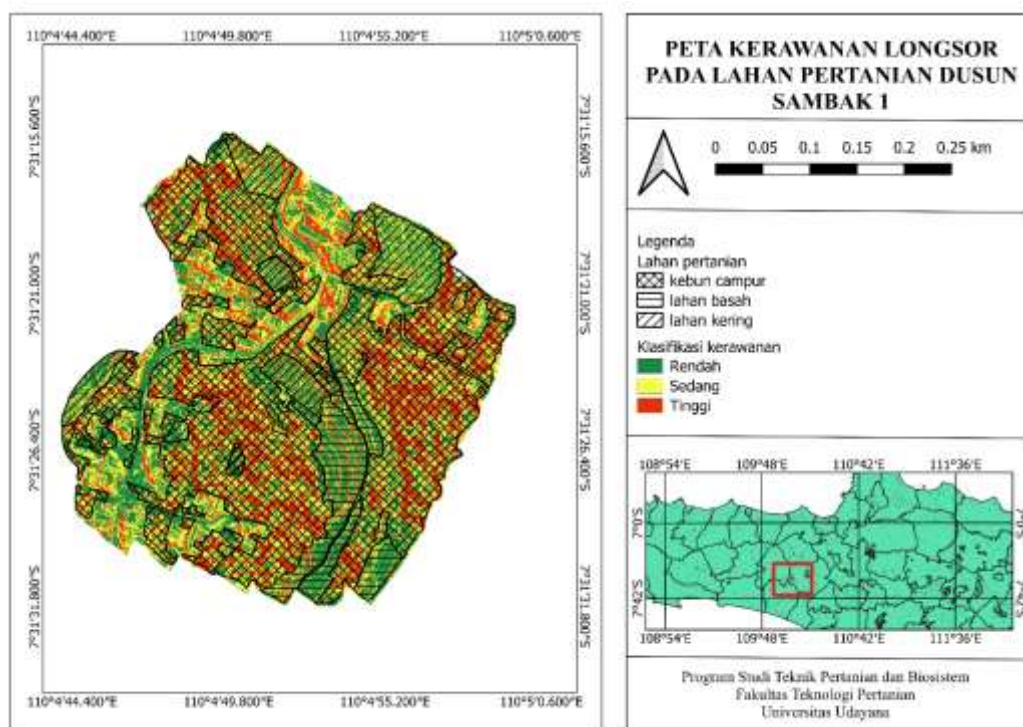
No	Kelas	Luas (ha)	Persentase (%)
1.	Rendah	5,1	33
2.	Sedang	6,2	40

3.	Tinggi	4,1	27
	Luas Total	15,4	100

Guna menjamin keandalan pemodelan, validasi kerawanan secara empiris didasarkan pada rekam jejak kejadian longsor eksisting (*landslide inventory*). Keterbatasan data historis titik longsor berskala mikro yang spesifik di wilayah Dusun Sambak 1 diatasi dengan menggunakan nilai bobot empiris *Frequency Ratio* (FR) yang diadaptasi langsung dari penelitian Wibawanti et al. (2023). Model parameter rujukan tersebut terbukti memiliki tingkat akurasi yang representatif karena telah melalui uji validasi lapangan terhadap 42 titik kejadian longsor eksisting yang tercatat berulang di kawasan transisi vulkanik Desa Sambak. Melalui adopsi bobot yang telah tervalidasi di lokasi studi yang sama ini, peta kerawanan yang dihasilkan memiliki justifikasi tingkat akurasi prediksi yang kuat, menjadikannya instrumen spasial yang esensial untuk mengidentifikasi ancaman secara lebih spesifik pada sektor tata guna lahan pertanian warga.

Peta Kerawanan Longsor pada Lahan Pertanian di Dusun Sambak 1

Peta kerawanan longsor pada lahan pertanian merupakan hasil *overlay* antara peta kerawanan longsor dan peta penggunaan lahan pertanian. Penggunaan lahan pertanian dibagi menjadi tiga kategori yaitu lahan basah, lahan kering, dan kebun campur. Peta ini menunjukkan sebaran tingkat kerawanan di masing-masing kategori sehingga dapat diketahui kategori yang paling rawan terhadap bencana longsor dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Peta kerawanan longsor pada lahan pertanian Dusun Sambak 1

Penelitian ini menggunakan tiga kategori lahan pertanian yaitu lahan basah, lahan kering dan kebun campur yang di mana masing-masing kategori disimbolkan dengan garis yang berbeda warna. Warna garis hitam merupakan kategori kebun campur, warna garis biru muda merupakan kategori lahan basah dan warna garis ungu merupakan kategori lahan kering. Dominasi lahan pertanian yang terdapat pada daerah ini adalah kebun campur dengan total luas lahan 8,60 ha. Kebun campur ditanami tanaman kopi, kelapa, pisang dan buah-buahan lainnya, kemudian untuk lahan basah dengan total luas lahan 1,18 ha dan lahan kering dengan total luas lahan adalah 1,47 ha. Secara visual dapat dilihat bahwa kategori kebun campur berada di kawasan kerawanan longsor yang tinggi

hal ini dapat disebabkan karena kebun campur berada di kemiringan yang curam jika dibandingkan dengan lahan basah dan lahan kering.

Tingginya tingkat kerawanan pada kawasan kebun campur ini secara empiris sejalan dengan temuan Wibawanti et al. (2023) yang mencatat terdapat 42 kejadian longsor historis di Desa Sambak yang didominasi pada area pertanian lahan kering, semak, dan lahan terbuka bersudut lereng 8° – 25° . Meskipun masyarakat Desa Sambak telah berpartisipasi aktif dalam Program Kampung Iklim (ProKlim) melalui kegiatan penanaman vegetasi, hasil evaluasi Wibawanti et al. (2023) menunjukkan bahwa pola penanaman tersebut masih bersifat acak dan belum secara spesifik ditempatkan pada zona-zona yang rawan longsor, sehingga efektivitas mitigasinya masih tergolong rendah.

Mengacu pada permasalahan tersebut, peta kerawanan longsor yang dihasilkan pada penelitian ini memegang peranan krusial sebagai instrumen panduan spasial bagi pemerintah desa. Rekomendasi mitigasi vegetatif tidak boleh lagi dilakukan secara acak, melainkan harus difokuskan secara presisi pada kelas kerawanan tinggi (zona merah). Pendekatan yang paling direkomendasikan pada zona tersebut adalah penerapan model agroforestri multistrata atau berlapis (Sittadewi et al., 2024; Yusuf et al., 2025). Melalui sistem ini, lahan budidaya warga ditata dengan mengintegrasikan tanaman semusim dengan tanaman kehutanan berakar dalam sehingga dapat meningkatkan kuat geser dan memperkuat struktur (Rahayu & Syarifuddin, 2024; Tsige et al., 2019). Sebagai pelengkap dari tegakan agroforestri tersebut, penanaman rumput akar wangi (*vetiver*) di bibir teras juga sangat krusial, karena sistem perakarannya berfungsi sebagai jangkar alami untuk mengikat agregat tanah secara mekanis (Farista et al., 2024; Prariz et al., 2024). Selain itu, dapat diterapkan teknik konservasi fisik dengan membuat terasering di lahan yang curam sehingga dapat memperkecil tingkat kemiringan lereng. Upaya fisik ini perlu diiringi dengan pembuatan saluran pembuangan air (*drainase*) untuk mengurangi tingkat infiltrasi dan mencegah penumpukan air di lahan dengan kelengkungan yang cekung (Hidayat et al., 2023; Naryanto et al., 2019). Luasan dari masing-masing kelas kerawanan longsor pada setiap kategori lahan pertanian dapat dilihat pada Tabel 12, 13, dan 14.

Tabel 12. Luasan kategori lahan basah

No	Kategori Lahan	Kelas Kerawanan Longsor	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Lahan Basah	Rendah	0,71	60
2	Lahan Basah	Sedang	0,34	29
3	Lahan Basah	Tinggi	0,13	11
Luas Total			1,18	100

Tabel 13. Luasan kategori lahan kering

No	Kategori Lahan	Kelas Kerawanan Longsor	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Lahan Kering	Rendah	0,76	52
2	Lahan Kering	Sedang	0,54	37
3	Lahan Kering	Tinggi	0,17	11
Luas Total			1,47	100

Tabel 14. Luasan kategori lahan campuran

No	Kategori Lahan	Kelas Kerawanan Longsor	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Kebun Campur	Rendah	1,97	23
2	Kebun Campur	Sedang	3,59	42
3	Kebun Campur	Tinggi	2,99	35
Luas Total			8,55	100

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada parameter dan verifikasi lapangan yang digunakan. Pemodelan hanya mempertimbangkan kemiringan lereng (*slope*), arah hadap (*aspect*), dan kelengkungan (*curvature*), sedangkan faktor lain seperti geologi, sifat fisik tanah, hidrologi, dan

penggunaan lahan belum dianalisis secara langsung. Pemilihan parameter tersebut disesuaikan dengan kondisi wilayah kajian, terutama karena curah hujan dan jenis tanah relatif homogen. Selain itu, keterbatasan waktu penelitian menyebabkan verifikasi kondisi lapangan dan observasi kejadian longsor secara langsung belum dapat dilakukan secara menyeluruh. Akurasi parameter topografi juga dipengaruhi oleh resolusi dan ketelitian DEM yang digunakan. Hasil pemetaan perlu dipahami sebagai gambaran kerawanan berbasis karakteristik topografi dan masih memerlukan validasi lapangan serta penambahan parameter fisik lainnya untuk meningkatkan keandalan hasil.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa integrasi parameter topografi (kemiringan lereng, arah hadap lereng, dan kelengkungan lereng) menghasilkan variasi tingkat kerawanan longsor yang terdistribusi secara spesifik pada setiap kategori lahan pertanian di Dusun Sambak 1. Secara umum, kawasan ini didominasi oleh kelas kerawanan sedang. Namun demikian, temuan yang paling krusial adalah teridentifikasinya kawasan kebun campur sebagai penggunaan lahan yang paling mendominasi zona kerawanan tinggi, dengan luasan mencapai 2,99 ha. Angka ancaman ini jauh melampaui lahan kering (0,17 ha) dan lahan basah (0,13 ha) pada kelas kerawanan yang sama.

Peta kerawanan spasial yang dihasilkan dari penelitian ini merupakan instrumen krusial yang dapat dimanfaatkan oleh pemerintah desa dan masyarakat sebagai dasar perencanaan penataan lahan pertanian yang adaptif dan aman. Guna meminimalkan potensi bencana secara berkelanjutan, langkah mitigasi pada wilayah dengan kerawanan tinggi tidak dapat lagi dilakukan secara acak. Penerapan mitigasi harus dilakukan secara terintegrasi, yang mencakup konservasi vegetatif melalui model agroforestri multistrata dan penanaman rumput akar wangi (*vetiver*), serta dipadukan dengan rekayasa fisik berupa pembuatan terasering dan pengelolaan sistem drainase permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdo, H. G., Almohamad, H., Al Dughairi, A. A., Ali, S. A., Parvin, F., Elbeltagi, A., Costache, R., Mohammed, S., Al-Mutiry, M., & Alsafadi, K. (2022). Spatial implementation of frequency ratio, statistical index and index of entropy models for landslide susceptibility mapping in Al-Balouta river basin, Tartous Governorate, Syria. *Geoscience Letters*, 9(1), 45. <https://doi.org/10.1186/s40562-022-00256-5>
- Agustin, M. N., Lailatul, S. F., Qibtiyyah, M., & Ummah, K. (2024). Tinjauan penyebab, kerentanan, dan optimalisasi upaya mitigasi bencana tanah longsor berkelanjutan di Gunungkidul. *Jurnal Geografi*, 1(2).
- Aldiansyah, S., & Adi Wibowo. (2022). Aplikasi metode Spatial Multi Criteria Analysis untuk pengembangan kawasan permukiman (Studi Kasus: Re-Evaluasi RTRW Provinsi Sulawesi Tenggara). *Jurnal Geografi, Edukasi Dan Lingkungan (JGEL)*, 6(2), 136–152. <https://doi.org/10.22236/jgel.v6i2.7481>
- Budianta, W. (2020). Pemetaan kawasan rawan tanah longsor di Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta dengan metode Analytical Hierarchy Process (AHP). *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat (Indonesian Journal of Community Engagement)*, 6(2), 68. <https://doi.org/10.22146/jpkm.45637>
- Dea, A. A. C. A., Sulastri, N. N., Ngadiasih, Parbawa, I. B. A. P., & Pradnyani, K. R. I. (2026). Pemetaan risiko longsor berbasis slope, aspect, dan curvature pada agroindustri tahu (studi kasus di Desa Sambak, Magelang). *Jurnal BETA (Biosistem Dan Teknik Pertanian)*, 14(2), 1–21. <https://doi.org/10.24843/jbeta.2026.v14.i02.p00>
- Farista, B., Virgota, A., Widiyanti, A., Muspiah, A., Julisaniah, N. I., Hayati, K. M., Sulastika, R., & Almubarak, H. (2024). Penanaman rumput akar wangi (*Chrysopogon zizanioides*) sebagai upaya mitigasi bencana longsor di Desa Giri Madia Kecamatan Lingsar Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 7(4), 1318–1324.

- Hidayat, R., Wijaya, I. P. E. P., & Munir, Moh. D. (2023). Mekanisme longsor akibat infiltrasi dari genangan air (studi kasus longsor di Lahat, Sumatera Selatan). *Jurnal Teknik Hidraulika*, 14(1), 1–12. <https://doi.org/10.32679/jth.v14i1.701>
- Liu, G., Tong, F., Zhao, Y., & Tian, B. (2018). A force transfer mechanism for triggering landslides during rainfall infiltration. *Journal of Mountain Science*, 15(11), 2480–2491. <https://doi.org/10.1007/s11629-018-5043-x>
- Luntungan, P. B. G., Rachmadhan, H. D., & Tandipajung, J. (2024). Analisis tingkat kerawanan longsor menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) pada Kecamatan Tomohon Barat dan Utara Kota. *Geological Processes, Risks and Integrated Spatial Modeling*, 02(03), 17–25.
- Madani, I., Ekstyarin, I., Maghfiroh, L., Krisnaayu, R., Lestari, D., Karina, H. A., Adityatama, C., Anjarini, D., & Ferdiansyah, R. (2023). Analisis spasial tingkat kerawanan tanah longsor di Kecamatan Wagir, Kabupaten Malang melalui Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Geosaintek*, 9(2), 80. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v9i2.17431>
- Miao, Z., Cheng, Z., Xiong, Y., Wu, L., Zhang, H., Li, Z. B., Peng, Z., & Liu, D. (2025). Landslide susceptibility mapping under cropland expansion: considering root cohesion variability and land use effects on saturated hydraulic conductivity. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 16(1). <https://doi.org/10.1080/19475705.2025.2569797>
- Misbahudin, M. (2020). Landslide susceptibility analysis in Kabandungan District and Salak Geothermal Field, West Java. *Jurnal Geografi Lingkungan Tropik*, 4(2). <https://doi.org/10.7454/jglitrop.v4i2.75>
- Naryanto, H. S., Soewandita, H., Ganesha, D., Prawiradisastra, F., & Kristijono, A. (2019). Analisis penyebab kejadian dan evaluasi bencana tanah longsor di Desa Banaran, Kecamatan Pulung, Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur tanggal 1 April 2017. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 272. <https://doi.org/10.14710/jil.17.2.272-282>
- Naseer, S., Haq, T. U., Khan, A., Tanoli, J. I., Khan, N. G., Qaiser, F.-R., & Shah, S. T. H. (2021). GIS-based spatial landslide distribution analysis of district Neelum, AJ&K, Pakistan. *Natural Hazards*, 106(1), 965–989. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04502-5>
- Nugroho, D. D., & Nugroho, H. (2020). Analisis kerentanan tanah longsor menggunakan metode frequency ratio di Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat. *Geoid*, 16(1), 8–18. <https://journal.its.ac.id/index.php/geoid/article/view/1663>
- Nurdika, S., Astutik, S., Pangastuti, E. I., Nurdin, E. A., & Mujib, M. A. (2024). Analisis tingkat kerawanan tanah longsor dengan metode Analytical Hierarchy Process di jalur wilayah Gunitir Kabupaten Jember. *Jurnal Swarnabhumi : Jurnal Geografi dan Pembelajaran Geografi*, 9(2), 106–113. <https://doi.org/10.31851/swarnabhumi.v9i2.11120>
- Prariz, Don Bosco Seccio Parangan, M. P. A., & Wijaya, W. (2024). Pemanfaatan penahan lereng bioengineering untuk pembangunan Ibu Kota Negara Baru di Kalimantan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. *Jurnal Reka Cipta*, 1(1), 1–7.
- Prawira, K. Y. (2024). Kerawanan longsor di Kecamatan Purabaya, Kabupaten Sukabumi. *Jurnal Samudra Geografi*, 7(1), 21–29. <https://doi.org/10.33059/jsg.v7i1.9015>
- Purwaningsih, R., Sartohadi, J., & Setiawan, M. A. (2020). Trees and crops arrangement in the agroforestry system based on slope units to control landslide reactivation on volcanic foot slopes in Java, Indonesia. *Land*, 9(9), 327. <https://doi.org/10.3390/land9090327>
- Rahayu, E. M., & Syarifuddin, A. (2024). Edukasi pendekatan vegetatif dalam upaya pencegahan longsor di Desa Sukomulyo Kecamatan Pujon Kabupaten Malang. *Inovasi Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(3), 465–472. <https://doi.org/10.54082/ijpm.623>
- Safinatunnajah, Samodra, G., & Setiawan, M. A. (2025). Pemodelan spasial kerawanan longsor menggunakan metode AHP di Pulau Jawa. *Journal Online of Physics*, 10(3), 1–12. <https://doi.org/10.22437/jop.v10i3.43891>
- Setiawan, A., Arifin, M., Harryanto, R., & Sandrawati, A. (2018). Hubungan karakteristik topografi dengan sifat-sifat fisika tanah studi kasus: Sub DAS Citarik, DAS Citarum Hulu. *SoilREns*, 16(1). <https://doi.org/10.24198/soilrens.v16i1.18310>
- Sittadewi, E. H., Tejakusuma, I. G., Mulyono, A., Handayani, T., Tohari, A., & Zakaria, Z. (2024). Post-landslide restoration through multistrata agroforestry-based land management in the West

- Bogor area of Indonesia. *Trees, Forests and People*, 16, 100593. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100593>
- Sulistio, Septiawan Rondonuwu, D. M., & Poli, H. (2020). Analisis rawan bencana tanah longsor Di Kecamatan Ratahan Timur Kabupaten Minahasa Tenggara. *Jurnal Spasial*, 7(1), 164–175.
- Susanti, P. D., Miardini, A., & Harjadi, B. (2017). Analisis kerentanan tanah longsor sebagai dasar mitigasi di Kabupaten Banjarnegara. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 1(1), 49–59. <https://doi.org/10.20886/jppdas.2017.1.1.49-59>
- Tsige, D., Senadheera, S., & Talema, A. (2019). Stability analysis of plant-root-reinforced shallow slopes along mountainous road corridors based on numerical modeling. *Geosciences*, 10(1), 19. <https://doi.org/10.3390/geosciences10010019>
- Wibawanti, E., Sartohadi, J., Ngadisih, N., Setiawan, A., & Mardiatno, D. (2023). Keefektifan “ProKlim” dalam pengendalian longsor secara vegetatif di kampung iklim Desa Sambak, Kajoran, Magelang. *AgriTECH*, 43(2), 105. <https://doi.org/10.22146/agritech.72009>
- Wijaya, A. H., Fajriyanto, Novianti, T. C., & Rahmadi, E. (2024). Pemetaan daerah bahaya tanah longsor di Kecamatan Balik Bukit Kabupaten Lampung Barat dengan metode weighted overlay. *Journal Of Plano Studies*, 1(2), 62–71. <https://doi.org/10.36982/jops.v1i2.4904>
- Wubalem, A. (2021). Landslide susceptibility mapping using statistical methods in Uatzau catchment area, northwestern Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters*, 8(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00170-y>
- Yusuf, M., Hemon, F., & Sukartono, S. (2025). Agroforestry management in realizing sustainable farming systems in dry lands of Dompu Regency from an ontological perspective. *Jurnal Biologi Tropis*, 25(2), 1781–1790. <https://doi.org/10.29303/jbt.v25i2.8859>
- Zaenurrohman, J. A., Zakaria, Z., Muljana, B., & Sulaksana, N. (2025). The landslide problem in volcanic rocks of Java Island (Indonesia): A review from integrating geotechnical engineering and geochemical perspectives. *Engineering Geology and Hydrogeology*, 39(1), 111–126. <https://doi.org/10.52321/igh.39.1.111>
- Zulkarnaen, R. N. (2020). Struktur vegetasi dan simpanan karbon hutan rakyat Desa Sambak, Magelang, Jawa Tengah. Buletin Kebun Raya. *Buletin Kebun Raya*, 23(2). <https://doi.org/10.14203/bkr.v23i2.262>