

PREDICTION OF EROSION HAZARD LEVELS AND DIRECTIONS FOR AGRICULTURAL LAND CONSERVATION ON THE NORTHWEST SLOPES OF MOUNT LAWU, KARANGANYAR REGENCY

PREDIKSI TINGKAT BAHAYA EROSI DAN ARAHAN KONSERVASI LAHAN PERTANIAN DI LERENG BARAT LAUT GUNUNG LAWU, KABUPATEN KARANGANYAR

As'ak Arif^{1*} dan Arum Sekar Kedhaton²

¹Kementerian Agama Kabupaten Alor, Kementerian Agama Republik Indonesia, Indonesia

²Pendidikan Geografi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

* Corresponding Author. E-mail address: asakarif8@gmail.com

ARTICLE HISTORY:

Received: 30 January 2026

Peer Review: 11 July 2025

Accepted: 16 May 2026

KEYWORDS:

Agricultural Land, erosion, land conservation, USLE Model

KATA KUNCI:

Erosi, lahan pertanian, konservasi lahan, model USLE

ABSTRACT

Agricultural land on the northwest slope of Mount Lawu, Karanganyar District, is developed on land with a very steep slope and has the potential of increasing erosion in the surrounding area. This research aimed to determine: (1) the level of erosion hazard, (2) the allowable amount of erosion, and (3) the direction of land conservation. This research is quantitative research with a descriptive approach. The research data then analyzed descriptively based on the results of calculations using the USLE model. From this study, the researcher found several results as follows. The level of erosion-hazard from the samples consisted of moderate (sample point I, VI), and very severe (sample point II, III, IV, V). The level of erosion hazard in the research area using geographic information system analysis is dominated by moderate (62.18%) and very severe levels (32.04%). The amount of erosion allowed at the six sample points ranges from 13.00-18.08 tons/ha/yr. These six-sample points also have the potential for higher erosion rates than allowed. Therefore, land conservation instructions need to be given. The instructions for land conservation in the six sample points are to apply vegetative methods (by changing ground cover vegetation) and mechanical methods (by changing land management).

ABSTRAK

Lahan pertanian di lereng barat laut Gunung Lawu Kabupaten Karanganyar dikembangkan di lahan dengan kemiringan sangat curam sehingga berpotensi memperbesar erosi di wilayah sekitarnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui: (1) tingkat bahaya erosi, (2) besarnya erosi yang diperbolehkan, dan (3) arahan konservasi lahannya. Desain penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif. Data penelitian dianalisis secara deskriptif berdasarkan hasil perhitungan menggunakan model USLE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) Tingkat bahaya erosi di keenam titik sampel terdiri dari tingkat sedang (titik sampel I, VI) dan sangat berat (titik sampel II, III, IV, V). Tingkat bahaya erosi wilayah penelitian dengan analisis Sistem Informasi Geografis (SIG) didominasi tingkat sedang (62.18%) dan sangat berat (32.04%); (2) Besar erosi yang diperbolehkan di keenam titik sampel berkisar dari 13.00-18.08 ton/ha/th. Keenam titik sampel memiliki potensi laju erosi lebih besar dari erosi yang diperbolehkan sehingga perlu diberikan arahan konservasi lahan; (3) Arahan konservasi lahan untuk keenam titik sampel menerapkan metode vegetatif (mengubah vegetasi penutup) dan metode mekanik (mengubah pengelolaan lahan).

1. PENDAHULUAN

Indonesia dalam kajian geologis terletak di Lempeng Indo-Australia (5-6 cm/th) yang menunjam/ membenam di bawah Lempeng Eurasia sehingga menyebabkan munculnya gunung api dari Pulau Sumatera sampai dengan Kepulauan Nusa Tenggara (Simanjuntak *et al.*, 2026). Tipe gunung api yang muncul disepanjang zona subduksi adalah stratovulkano dengan material letusan berupa lava, tefra, piroklastik (Legowo *et al.*, 2023). Jenis tanah hasil vulkanisme yang lunak dan subur akan mendorong wilayah tersebut dijadikan pertanian hortikultura (Kardhana *et al.*, 2024). Penanaman hortikultura pada topografi curam dan iklim tropis dapat mengancam erosi yang lebih besar dibandingkan penanaman yang sama pada jenis topografi dan iklim berbeda (Li *et al.*, 2024; Nahib *et al.*, 2024; Taloor *et al.*, 2025). Erosi merupakan fenomena tergerusnya lapisan tanah atas oleh air, angin, gravitasi, atau energi lainnya (Li *et al.*, 2024). Erosi menyebabkan degradasi lahan pertanian (Li *et al.*, 2024; Meinen & Robinson, 2021; Taloor *et al.*, 2025). Degradasi lahan dapat berupa kehilangan nutrisi tanah, kemerosotan produktivitas, sedimentasi pada badan air dan banjir (Taloor *et al.*, 2025), hingga mengganggu siklus biogeokimia dan pengurangan penyimpanan karbon (Li *et al.*, 2024).

Gunung Lawu di Pulau Jawa merupakan vulkan bertipe strato yang berada di perbatasan Provinsi Jawa Tengah (Kabupaten Karanganyar) dengan Jawa Timur (Kabupaten Magetan dan Ngawi) (Legowo *et al.*, 2023). Penduduk yang tinggal di lereng Gunung Lawu memanfaatkan sebagian lahan untuk pertanian. Pertanian yang dikembangkan di lereng Gunung Lawu berupa padi, palawija, perkebunan, serta hortikultura (sayuran, buah-buahan, bunga, obat-obatan, taman) (BPS, 2024). Peta RBI Kabupaten Karanganyar, Magetan, dan Ngawi tahun 2006 menunjukkan sejak tahun tersebut di Lereng Barat Laut Gunung Lawu memiliki persentase luas lahan untuk pertanian yang terbesar dibandingkan bagian lereng lainnya.

Lahan di permukaan bumi secara alami mengalami erosi, akan tetapi akibat aktivitas antropogenik seperti pertanian, irigasi, penggembalaan menyebabkan erosi dapat lebih cepat melebihi laju denudasi alami (Chornyy, 2022). Lereng di Gunung Lawu memiliki kemiringan berkisar dari agak miring (8%) hingga sangat curam (>40%) (Mujiyo *et al.*, 2025). Lereng yang curam dapat menyebabkan erosi melebihi batas toleransi, dibuktikan dengan penelitian di DAS Air Dingin, Sumatera Barat pada kemiringan 14-25% dengan penggunaan lahan pertanian kebun campuran memiliki erosi yang melebihi toleransi (Putra *et al.*, 2018). Kemudian lahan pertanian dengan kemiringan <15% konservasi lahan masih dapat dengan metode kimia dan vegetatif, sedangkan pada lahan dengan kemiringan >40% konservasi lahan harus disertai dengan metode mekanik (Nahib *et al.*, 2024). Beberapa penelitian di atas menginformasikan bahwa di Lereng Barat Laut Gunung Lawu berpotensi memiliki potensi laju erosi yang besar dan melebihi erosi yang diperbolehkan sehingga perlu diberikan arahan pengelolaan lahan pertanian di Lereng Barat Laut Gunung Lawu.

Penelitian erosi dapat dikaji menggunakan model *Universal Soil Loss Equation* (USLE) dan pendekatan Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan analisis *overlay* (Jemai *et al.*, 2021; Rashid *et al.*, 2025; Yusuf *et al.*, 2020). Latar belakang pemilihan model USLE adalah mudah digunakan, hasil perhitungan relatif baik, cocok untuk sistem pertanian konvensional, dapat memprediksi erosi jangka panjang (Argaman *et al.*, 2026; Jemai *et al.*, 2021; Kardhana *et al.*, 2024; Meinen & Robinson, 2021). USLE juga sering digunakan untuk memprediksi tingkat bahaya erosi serta pemilihan alternatif teknik konservasi lahan (Taloor *et al.*, 2025). Penelitian tingkat bahaya erosi dengan SIG di wilayah penelitian terakhir dilaksanakan pada 2017 oleh Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung (BPDASHL) Bengawan Solo. Setelah analisis *clip* pada wilayah penelitian di Lereng Barat Laut Gunung Lawu seluas 4.810,28 ha, ditemukan persentase tingkat bahaya erosi: sangat ringan (12.59%), ringan (45.65%), sedang (9.54%), berat (20.01%), sangat berat (12.21%). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat bahaya erosi, erosi yang diperbolehkan, dan

arahan konservasi lahan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperbarui informasi tingkat bahaya erosi di wilayah penelitian dan memberikan arahan konservasi lahan pertanian pada titik sampel penelitian.

2. BAHAN DAN METODE

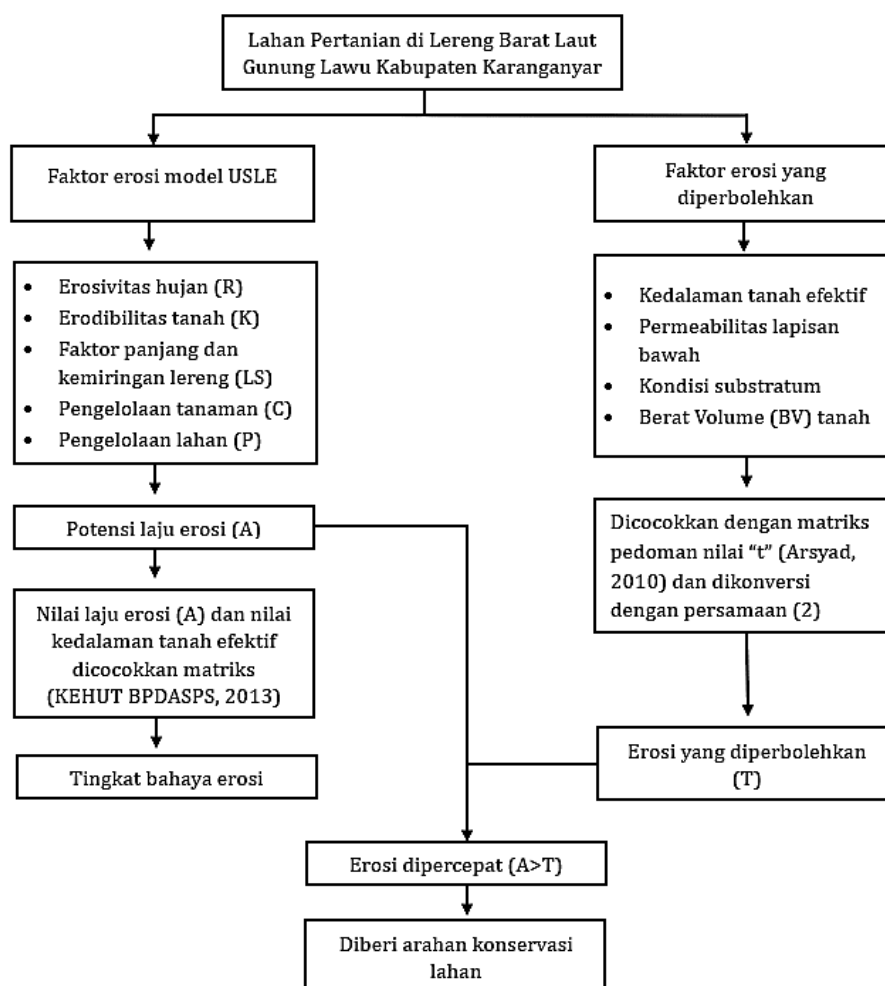
2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di lereng barat laut Gunung Lawu Kabupaten Karanganyar (Desa Anggrasmanis, Gumeng, Segorogunung, Girimulyo, Berjo), Jawa Tengah. Penelitian ini dilaksanakan pada September 2025 – Januari 2026.

2.2 Teknik Pengumpulan Data

Metode penelitian yang dilaksanakan yaitu kuantitatif deskriptif. Populasi dalam penelitian ini meliputi seluruh satuan unit lahan pertanian. Satuan unit lahan pertanian diperoleh dari *overlay*/tumpang susun tiga macam peta (jenis tanah, kemiringan lereng, dan penggunaan lahan). Sampel ditentukan secara *purposive* dengan mempertimbangkan variasi dan luas sehingga dipilih 6 dari 27 satuan unit lahan pertanian.

2.3. Prosedur Penelitian



Gambar 1. Prosedur Penelitian

Gambar 1 menunjukkan prosedur penelitian yang dijalankan oleh peneliti. Tujuan penelitian pertama mengetahui tingkat bahaya erosi dapat dijawab melalui pengumpulan data: (1) Erosivitas hujan (R) dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Bengawan Solo; (2) Data erodibilitas tanah (K) dari sampel tanah yang telah diambil dari wilayah penelitian selanjutnya diuji laboratorium di Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) D.I. Yogyakarta. Data spasial/ peta tanah diperoleh dari Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung (BPDASHL) Solo; (3) Data kemiringan lereng (LS) diperoleh dari pengukuran titik sampel. Data spasial kemiringan lereng diperoleh dari analisis peta Rupa Bumi Indonesia lembar Kab. Karanganyar skala 1:250.000 tahun 2008; (4) Data pengelolaan tanaman (C) dan pengelolaan lahan (P) diperoleh dari observasi lapangan. Data spasial pengelolaan tanaman dan pengelolaan lahan diperoleh dari Balai Pemantapan Kawasan Hutan (BPKH) Wilayah XI Yogyakarta. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis dengan persamaan (1) hingga menghasilkan nilai potensi laju erosi (A) dan tingkat bahaya erosi. Tujuan penelitian kedua mengetahui erosi yang diperbolehkan dapat terjawab dengan mengumpulkan data: (1) Kedalaman tanah efektif dan kondisi substratum diperoleh dari observasi titik sampel. Data spasial kedalaman tanah diperoleh dari BPDASHL Solo; (2) Data permeabilitas lapisan bawah dan berat volume tanah diperoleh dari sampel tanah wilayah penelitian yang telah diuji di BPTP D.I. Yogyakarta. Data yang didapatkan selanjutnya dianalisis dengan persamaan (2) hingga menghasilkan erosi yang diperbolehkan (T). Tujuan penelitian ketiga memberikan arahan konservasi lahan ketika potensi laju erosi (A) dibanding erosi yang diperbolehkan (T).

2.4 Teknik Analisis Data

2.4.1 Tingkat Bahaya Erosi (TBE)

Menentukan besar potensi laju erosi (ton/ha/th) dengan persamaan (Kardhana *et al.*, 2024; Li *et al.*, 2024; Meinen & Robinson, 2021; Rizkiani & Wilis, 2026):

$$A = R.K.LS.C.P \quad (1)$$

Keterangan: A= banyaknya tanah tererosi dalam ton/ha/th (potensi laju erosi), R: faktor erosivitas hujan, K= faktor erodibilitas tanah, LS= faktor panjang dan kemiringan lereng, C= faktor vegetasi, P= faktor pengelolaan lahan.

Mencocokkan nilai laju erosi (ton/ha/th) dan data kedalaman efektif tanah (cm) dengan matriks tingkat bahaya erosi dari Kementerian Kehutanan Nomor: P.4/V-SET/2013 untuk memperoleh informasi tingkat bahaya erosi (Kardhana *et al.*, 2024; KEHUT BPDASPS, 2013; Nahib *et al.*, 2024).

2.4.2 Erosi yang Diperbolehkan

Menentukan nilai sifat tanah dan substratum t (mm/th) berdasarkan pedoman nilai t (Arsyad, 2010), mengonversi nilai t (mm/th) menjadi nilai T (ton/ha/th) menggunakan persamaan (Nurkholis *et al.*, 2023)

$$T = t.10.BV \quad (2)$$

Keterangan: T= besar erosi diperbolehkan (ton/ha/th), t= nilai sifat tanah dan substratum (mm/tahun), BV= Berat isi/volume.

2.4.3 Arahan Konservasi Lahan

Membandingkan nilai potensi laju erosi (A) dengan erosi yang diperbolehkan (T) (Chorny, 2022), arahan konservasi lahan diberikan pada titik sampel yang memiliki nilai A lebih besar dari T.

Mengubah faktor vegetasi (C) dan pengelolaan lahan (P) hingga nilai A menjadi lebih kecil atau sama dengan T dengan persamaan (Kardhana *et al.*, 2024; Li *et al.*, 2024; Meinen & Robinson, 2021).

$$CP \leq \frac{T}{RKLS} \quad (3)$$

Keterangan: T= Erosi yang diperbolehkan, A= banyaknya tanah tererosi dalam ton ha⁻¹ (potensi laju erosi).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gambaran Wilayah Penelitian

Penelitian tingkat bahaya erosi dilaksanakan di lereng barat laut Gunung Lawu Kabupaten Karanganyar. Wilayah penelitian dengan luas 4810.85 ha mencakup Kecamatan Jenawi (Desa Anggrasmanis dan Gumeng) serta Kecamatan Ngargoyoso (Desa Segorogunung, Girimulyo, dan Berjo). Rata-rata curah hujan tahunan (2016-2025) sebesar 3699.40 mm/th atau rata-rata hujan bulanan menjadi 308 mm/bulan, dalam klasifikasi BMKG termasuk curah hujan dengan kelas tinggi (300–500 mm/bulan) (BMKG, 2026). Kondisi tanah wilayah penelitian didominasi oleh kompleks andosol coklat kekuningan, dominasi tanah andosol disebabkan oleh pelapukan batuan andesit yang banyak dikeluarkan melalui erupsi Gunung Lawu (Legowo *et al.*, 2023). Kondisi topografi wilayah penelitian didominasi oleh lereng curam dan agak curam. Penggunaan lahan di wilayah penelitian untuk pertanian seluas 23.12% terdiri dari sawah dan pertanian lahan kering. Penduduk yang tinggal di wilayah penelitian pada tahun 2025 sejumlah 18010.00 jiwa dan mayoritas bekerja sebagai petani sebesar 57.75%.

3.2 Erosivitas Hujan (R)

Erosivitas hujan menunjukkan kemampuan energi kinetik rintik hujan dan intensitas hujan untuk mengerosi tanah (Hadi *et al.*, 2023; Meinen & Robinson, 2021). Hujan menjadi faktor paling kuat dalam menyebabkan erosi dibandingkan unsur cuaca lainnya (Kardhana *et al.*, 2024). Data curah hujan tahun 2016-2025 di Stasiun Pengamatan Tawangmangu dari Kementerian Pekerjaan Umum - Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Bengawan Solo akan digunakan dalam pengolahan data. Nilai erosivitas hujan selanjutnya digunakan untuk perhitungan USLE ditentukan menggunakan persamaan Bols dan menghasilkan Tabel 1 (Kardhana *et al.*, 2024).

Erosivitas hujan yang besar berpotensi menyebabkan erosi menjadi tinggi (Kardhana *et al.*, 2024). Curah hujan tinggi dapat menghancurkan makro agregat tanah dan terdispersi sehingga menjadi mikro agregat hingga kemudian menyebabkan erodibilitas tanah menjadi tinggi (Hadi *et al.*, 2023; Rashid *et al.*, 2025). Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai erosivitas hujan yang terendah terjadi pada 2023 karena pada tahun tersebut terjadi peristiwa El Nino (BMKG, 2025). Kemudian erosivitas hujan tinggi terjadi pada tahun-tahun terjadinya peristiwa La Nina yakni tahun 2016 terjadi pada Juli – September (BMKG, 2016), La Nina juga terjadi di Oktober 2020 hingga Februari 2021 (Sekretariat Kabinet Republik Indonesia, 2020), La Nina juga terjadi pada November 2024 hingga April 2025 (BMKG, 2024). Perubahan iklim seperti perubahan pola cuaca peningkatan curah hujan karena La Nina dapat mempercepat erosi tanah (Hadi *et al.*, 2023; Nahib *et al.*, 2024). Nilai rata-rata erosivitas hujan tahunan 1794.61 merupakan nilai yang akan diolah untuk menghitung potensi laju erosi.

3.3 Erodibilitas Tanah (K)

Erodibilitas tanah menggambarkan kerentanan tanah dalam mengalami pengikisan (Argaman *et al.*, 2026; Hadi *et al.*, 2023). Kemudahan tanah mengalami erosi dipengaruhi oleh faktor: tekstur tanah (M), kandungan bahan organik (a), struktur tanah (b), dan permeabilitas tanah (c) (Argaman *et al.*, 2026; Kardhana *et al.*, 2024; Meinen & Robinson, 2021; Nahib *et al.*, 2024). Sampel tanah yang

telah diambil dari wilayah penelitian selanjutnya diuji laboratorium di Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) D.I. Yogyakarta. Selanjutnya data hasil uji lab dianalisis dan menghasilkan nilai faktor K ditampilkan pada Tabel 4.

Erodibilitas tanah yang semakin tinggi (mendekati 1) menunjukkan tanah yang peka mengalami erosi (Hadi *et al.*, 2023; Nahib *et al.*, 2024). Tanah dengan erodibilitas tinggi memiliki karakter seperti pecah-pecah, ada bercak, dan berlubang (Rashid *et al.*, 2025). Erodibilitas tanah titik sampel terdiri dari kelas agak tinggi hingga sangat tinggi. Erodibilitas tanah tertinggi ditemukan pada sampel III sebesar 0.86 karena kandungan bahan organik sedikit (2.40%). Kandungan organik sedikit menyebabkan kekuatan ikatan antar partikel tanah kurang kuat sehingga menjadi peka terhadap erosi (Yusuf *et al.*, 2020). Titik sampel III juga memiliki permeabilitas tanah lambat (0.7 cm/jam) sehingga air permukaan sulit mengalami infiltrasi dan lebih banyak mengalir di permukaan. Data nilai erodibilitas tanah yang tidak diambil sampelnya diperoleh dari dokumentasi BPDASHL Bengawan Solo, jurnal penelitian di Sungai Pasee Peusangan, Aceh dan jurnal penelitian di DAS Vidore, Pakistan (Hadi *et al.*, 2023; Rashid *et al.*, 2025). Setelah data spasial beserta data atributnya diperoleh, langkah berikutnya adalah analisis SIG dengan cara *overlay* peta erodibilitas tanah dengan peta lainnya untuk menghasilkan Gambar 2 Peta Tingkat Bahaya Erosi.

Tabel 1. Erosivitas Hujan Lereng Barat Laut Gunung Lawu Kabupaten Karanganyar

No	Tahun	Erosivitas Hujan	No	Tahun	Erosivitas Hujan
1	2016	2309.30	6	2021	2052.03
2	2017	1902.28	7	2022	1559.80
3	2018	1209.49	8	2023	826.74
4	2019	1314.61	9	2024	2194.85
5	2020	2418.59	10	2025	2158.36
Rata-rata Erosivitas Hujan 10 tahun				1794.61	

Sumber: Analisis Data, 2026.

Tabel 2. Nilai C di Titik Sampel

Sampel	Tanaman	Nilai C
I	Rumput/semak belukar	0.15*
II	Loncang	0.7**
III	Tumpang gilir (Loncang dan kapri)	0.357**
IV	Tumpang gilir (Sawi sendok dan tomat)	0.357**
V	Tumpang gilir (Seledri dan loncang)	0.357**
VI	Kebun campuran kerapatan sedang (Sawi, loncang, cabai, jeruk lemon)	0.25*

Sumber: Pengamatan Lapangan dan Dokumentasi, 2025 *) (Li *et al.*, 2024); **) (KLHK Dirjen BPDASHL, 2017).

Tabel 3. Penggunaan Lahan Wilayah Penelitian

Penggunaan Lahan	Luas (Ha)	Luas (%)
Hutan Lahan Kering Primer	2104.84	43.76
Hutan Tanaman	634.17	13.18
Perkebunan	321.80	6.69
Permukiman	630.80	13.11
Pertanian Lahan Kering	416.65	8.66
Pertanian Lahan Kering Campur	383.70	7.98
Sawah	318.33	6.62
TOTAL	4810.28	100.00

Sumber: Analisis Data (2026).

3.4 Panjang dan Kemiringan Lereng (LS)

Panjang dan kemiringan lereng yang tinggi akan menyebabkan kecepatan aliran permukaan menjadi cepat, tekanan tinggi pada tanah, dan stabilitas tanah menjadi buruk sehingga terjadi pengangkutan sedimen dalam jumlah yang besar (Li *et al.*, 2024; Rashid *et al.*, 2025). Pengaruh faktor panjang dan kemiringan lereng ini dimulai dari atas atau asal aliran hingga kemiringan lereng yang sudah berkurang sampai terjadi pengendapan (Rashid *et al.*, 2025). Nilai faktor LS yang besar akan memperbesar pula potensi laju erosi (Nahib *et al.*, 2024). Data LS pada titik sampel diperoleh melalui observasi. Nilai faktor panjang dan kemiringan lereng untuk perhitungan USLE ditampilkan pada Tabel 4. Titik sampel III dan IV memiliki nilai LS yang terbesar karena kedua titik sampel berada pada kemiringan lereng yang tercuram. Nilai kemiringan lereng yang tidak diambil sampelnya kemudian memperoleh data spasial dari analisis Peta Rupa Bumi Lembar Karanganyar Ina-Geoportal Tahun 2006. Kemudian data atribut nilai konstanta kemiringan lereng (LS) diperoleh dari jurnal penelitian di Sungai Pasee Peusangan, Aceh dengan kriteria Datar (0.4), Landai (1.4), Agak Curam (3.1), Curam (6.8), dan Sangat Curam (9.5) (Hadi *et al.*, 2023). Setelah data spasial peta kemiringan lereng diperoleh, langkah berikutnya adalah analisis SIG dengan cara *overlay* peta kemiringan lereng dengan peta lainnya untuk menghasilkan Gambar 2 Peta Tingkat Bahaya Erosi.

3.5 Vegetasi Penutup Tanah (C)

Nilai C merupakan rasio kehilangan tanah pada penanaman tertentu terhadap lahan yang diolah (Argaman *et al.*, 2026). Data vegetasi penutup tanah diperoleh melalui observasi lapangan dan nilai C ditentukan dari dokumentasi. Nilai faktor vegetasi penutup tanah ditampilkan Tabel 2. Masyarakat petani di wilayah penelitian membudidayakan tanaman yang bernilai ekonomis dan dapat dijual. Vegetasi yang ditanam berupa sayuran seperti Tabel 2. Nilai faktor vegetasi penutup tanah yang mendekati 1 menunjukkan kepekaan erosi tinggi (Hadi *et al.*, 2023) misalnya pada titik sampel II (0.7) yang menerapkan pola tanam monokultur daun bawang. Pola tanam monokultur menyebabkan tajuk yang tidak rapat sehingga potensi tumbukan air hujan dengan tanah dan aliran permukaan menjadi tinggi. Nilai faktor vegetasi penutup tanah dan faktor pengelolaan lahan pada bagian berikutnya yang tidak diambil sampel kemudian menggunakan data spasial peta penggunaan lahan dari Balai Pengelolaan dan Konservasi Hutan (BPKH) XI Yogyakarta tahun 2022 ditampilkan Tabel 3. Kemudian data atribut nilai faktor vegetasi diperoleh dari dokumentasi (KLHK Dirjen BPDASHL, 2017). Selanjutnya dilakukan analisis SIG *overlay* peta penggunaan lahan dengan peta lainnya untuk menghasilkan Gambar 2 Peta Tingkat Bahaya Erosi.

3.6 Pengelolaan Lahan (P)

Faktor pengelolaan lahan merupakan rasio kehilangan tanah dengan praktik pengelolaan tertentu terhadap lahan yang diolah (Argaman *et al.*, 2026). Data pengelolaan lahan diperoleh melalui observasi lapangan dan nilai P didapatkan dari dokumentasi jurnal penelitian di DAS Basantar dan Devak, India (Taloor *et al.*, 2025). Bentuk pengolahan lahan keenam titik sampel ditampilkan berupa teras bangku sedang (titik sampel I) dan mulsa plastik (titik sampel II, III, IV, V, VI). Nilai faktor pengelolaan lahan ditampilkan Tabel 4.

Nilai P untuk mulsa plastik tidak ditemukan dalam dokumentasi sehingga melakukan metode pendekatan asumsi dengan nilai faktor mulsa jerami. Mulsa plastik dan mulsa jerami permeabilitasnya tidak berbeda secara nyata yakni secara berurut-urut 3.39 cm/jam dan 4 cm/jam (Saputra *et al.*, 2021). Mulsa plastik yang digunakan oleh petani di wilayah penelitian adalah hitam perak. Bagian warna hitam menghadap bawah untuk menahan kelembapan tanah dan warna perak menghadap atas untuk mengurangi penguapan dan memberi efek silau bagi hama. Mulsa plastik

bersifat kedap air sehingga menutupi tanah dari tumbukan air hujan namun dapat meningkatkan aliran permukaan pada bagian yang tidak tertutup mulsa.

3.7 Tingkat Bahaya Erosi (TBE)

TBE diperoleh dengan mencocokkan nilai potensi laju erosi (ton/ha/th) dan kedalaman tanah efektif (cm) dengan matriks tingkat bahaya erosi. Potensi laju erosi merupakan prediksi banyaknya tanah yang tererosi. Kedalaman tanah efektif dibatasi oleh lapisan penghambat tidak tembus akar seperti *bedrock*, padas keras, padas liat, padas rapuh, zona regolik/horison C (Chorny, 2022). Kedalaman tanah efektif ditentukan dengan observasi pengukuran dari permukaan tanah hingga lapisan tanah yang tidak terdapat lagi akar tanaman. Tingkat bahaya erosi keenam titik sampel ditampilkan Tabel 4.

Tabel 4 menginformasikan bahwa tingkat bahaya erosi di keenam titik sampel pada tingkat sedang (sampel I, VI) dan sangat berat (sampel II, III, IV, V). Potensi laju erosi yang semakin besar dapat menghasilkan tingkat bahaya erosi yang lebih tinggi. Kedalaman tanah efektif dangkal memiliki tingkat bahaya erosi tinggi karena ketersediaan tanah untuk tanaman lebih sedikit sehingga akan lebih cepat habis ketika tererosi. Titik sampel I memiliki tingkat bahaya erosi sedang karena meskipun nilai erodibilitas tanah (K) sangat tinggi dan kemiringan lereng (S) agak curam tetapi vegetasi penutup (C) berupa semak belukar sehingga mampu melindungi tanah dari hantaman air hujan. Titik sampel II memiliki tingkat bahaya erosi sangat berat karena nilai erodibilitas tanah (K) tinggi, vegetasi penutup (C) monokultur, dan pengelolaan lahan (P) di lereng agak curam tanpa penerasan. Lereng yang semakin curam akan memperbesar tenaga dan kecepatan air dalam mengerosi tanah (Li et al., 2024). Lereng yang lebih curam dari 12% konservasi bedengan dapat mendorong erosi melebihi batas yang diperbolehkan (Arsyad, 2010). Titik sampel III memiliki tingkat bahaya erosi sangat berat karena nilai erodibilitas tanah (K) sangat tinggi, kemiringan lereng (S) sangat curam, pengelolaan lahan (P) tanpa penerasan, dan kedalaman solum yang sedang. Seperti penelitian di DAS Vidore, Pakistan tutupan vegetasi yang sudah cukup rapat masih dapat memperbesar erosi ketika kondisi lereng curam dan erodibilitas tanah tinggi lebih mendominasi (Rashid et al., 2025). Titik sampel IV dan V memiliki tingkat bahaya erosi sangat berat karena erodibilitas tanah (K) sangat tinggi, kemiringan lereng curam, dan pengelolaan lahan (P) tanpa penerasan. Lahan dengan kemiringan sangat curam (>40%) konservasi lahan seharusnya disertai dengan metode mekanik seperti teras bangku (Nahib et al., 2024). Titik sampel VI memiliki tingkat bahaya erosi sedang karena kemiringan lereng (S) landai dan vegetasi penutup (C) menerapkan agroforestri yang memiliki kerapatan tajuk cukup rapat. Vegetasi berupa agroforestri di sampel VI tajuknya dapat menutupi tanah dari air hujan, kemudian akar dapat mengikat tanah menjadi tahan dari erosi. Kemudian batang vegetasi berperan untuk intersepsi melalui mekanisme aliran batang/*stemflow* sehingga air tidak langsung mengenai tanah dan dapat memperlambat erosi (Nahib et al., 2024). Analisis di atas menunjukkan faktor K, S, C, P sangat berkaitan ketika menganalisis erosi (Yusuf et al., 2020).

Nilai tingkat bahaya erosi bagian yang tidak diambil sampel kemudian menggunakan analisis SIG dengan *overlay* data erosivitas hujan, peta erodibilitas tanah, peta kemiringan lereng, peta penggunaan lahan, dan data kedalaman solum tanah dari BPDASHL Bengawan Solo sehingga menghasilkan Gambar 2 Peta Tingkat Bahaya Erosi (TBE). Dominasi TBE di wilayah penelitian ditampilkan pada legenda peta dengan yang terluas adalah tingkat bahaya erosi sedang (62.18%) dan sangat berat (32.04%). Data ini menunjukkan telah terjadi peningkatan tingkat bahaya erosi dari tahun 2017 yang dikaji oleh BPDASHL Bengawan Solo yang awalnya didominasi oleh tingkat bahaya erosi ringan (45.65%) dan berat (20.01%). Tingkat bahaya erosi di wilayah penelitian lebih berbahaya di bandingkan DAS Citarum yang hanya didominasi tingkat rendah (45%) dan sedang

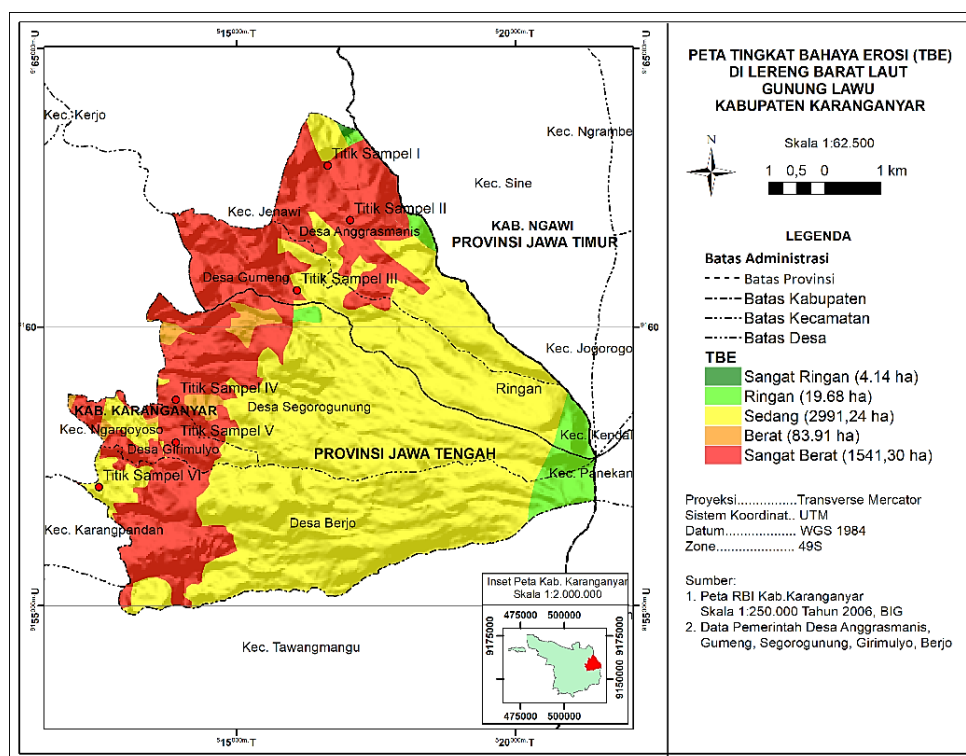
(25%) (Kardhana *et al.*, 2024). Hal tersebut menunjukkan pentingnya arahan konservasi lahan untuk dapat menekan nilai laju erosi dan TBE di wilayah penelitian.

Gambar 2 menunjukkan dominasi tingkat bahaya erosi kelas sedang dengan simbol warna kuning tersebar di kelima desa penelitian. Tingkat bahaya erosi kelas sedang ditemukan di lereng datar hingga sangat curam dan penggunaan lahan sawah serta hutan. Penggunaan lahan hutan memiliki tingkat bahaya erosi sedang karena hutan memiliki kanopi tebal, kerapatan tinggi, dan akar yang dalam mampu menstabilkan tanah sehingga lebih tahan erosi (Kardhana *et al.*, 2024). Kemudian tingkat bahaya erosi sangat berat pada Gambar 2 disimbolkan dengan warna merah, ditemukan dari kemiringan lereng agak curam hingga sangat curam. Penggunaan lahan pada tingkat bahaya erosi sangat berat berupa pertanian lahan kering yang tersebar merata di kelima desa wilayah penelitian. Lahan pertanian tegalan umumnya memiliki tutupan yang lebih tipis dibandingkan hutan dan akar sayuran berupa serabut, sehingga aliran permukaan dapat dengan mudah mengerosi tanah yang tidak terikat dengan akar yang kuat tersebut. Seperti penelitian di DAS Vidore, Pakistan pada lahan dengan karakteristik vegetasi jarang dan tanah gembur memiliki erosi yang berat (Rashid *et al.*, 2025).

Tabel 4. Faktor Laju Erosi dan Tingkat Bahaya Erosi Titik Sampel

Sampel	R	K	LS	C	P	A (ton/ha/th)	Kedalaman Efektif (cm)	Tingkat Bahaya Erosi
I	1794.61	0.67	4.11	0.15*	0.15	111.19	173	Sedang
II	1794.61	0.42	6.29	0.7**	0.25	829.68	126	Sangat Berat
III	1794.61	0.86	13.96	0.357**	0.25	1922.92	80	Sangat Berat
IV	1794.61	0.58	9.43	0.357**	0.25	876.03	180	Sangat Berat
V	1794.61	0.68	6.24	0.357**	0.25	679.63	105	Sangat Berat
VI	1794.61	0.69	1.33	0.25*	0.25	102.93	110	Sedang

Sumber: Observasi, Uji Laboratorium, dan Dokumentasi *) (Li *et al.*, 2024); **) (KLHK Dirjen BPDASHL, 2017).

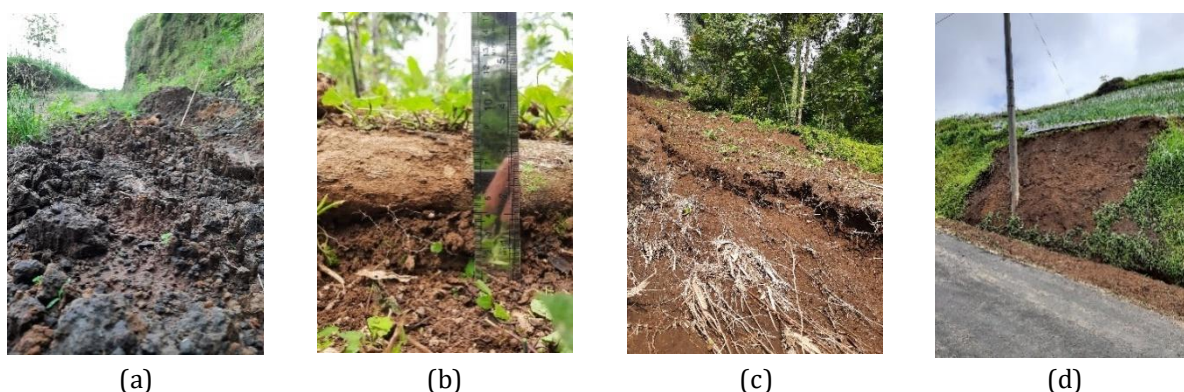


Gambar 2. Peta Tingkat Bahaya Erosi di Wilayah Penelitian

Dokumentasi bukti adanya erosi aktual di wilayah penelitian ditampilkan pada Gambar 3a, 3b, 3c, 3d. Erosi yang ditemukan di wilayah penelitian di antaranya: (1) Erosi Percik Gambar 3a, merupakan erosi pertama yang disebabkan air hujan. Air hujan saat jatuh ke tanah tanpa tutupan vegetasi seperti bom kecil yang dapat menggusur partikel tanah dan merusak struktur tanah (Naharuddin, 2020); (2) Erosi Lembar Gambar 3b, merupakan proses kedua setelah terjadinya erosi percik. Erosi lembar berupa kehilangan tanah lapisan tipis dalam bentuk aliran air dari tanah kering yang diidentifikasi dengan munculnya akar pohon (Naharuddin, 2020); (3) Erosi Alur Gambar 3c, diidentifikasi dengan adanya garis alur yang dangkal pada permukaan tanah. Apabila erosi tidak segera dikonservasi maka dapat berkembang menjadi erosi parit (Naharuddin, 2020). Ketiga macam erosi tersebut menunjukkan kombinasi faktor R, K, L, S, C, P telah terbukti aktual menyebabkan erosi di wilayah penelitian. Erosi tanah secara berkelanjutan dapat meningkatkan risiko tanah longsor (Nahib *et al.*, 2024). Tanah longsor tersebut telah terjadi di wilayah penelitian dibuktikan dengan Gambar 3d. Penelitian tentang erosi di Desa Ciputri, Cianjur, Jawa Barat juga menemukan adanya tanah longsor (Anggara *et al.*, 2024).

3.8 Erosi yang Diperbolehkan

Erosi yang diperbolehkan merupakan potensi laju erosi yang masih dapat ditoleransi karena masih mendukung pertumbuhan tanaman dan memungkinkan produktivitas secara lestari (Sumarniasih *et al.*, 2023). Erosi yang diperbolehkan merupakan tingkat erosi maksimum yang diizinkan di mana tanah masih terjaga kesuburannya untuk 20-25 tahun ke depan (Chorny, 2022). Erosi yang diperbolehkan dipengaruhi oleh faktor kedalaman tanah efektif, permeabilitas lapisan bawah, kondisi substratum (t), dan Berat Volume (BV) tanah (Nurkholis *et al.*, 2023; Sumarniasih *et al.*, 2023; Yusuf *et al.*, 2020). Data faktor erosi yang diperbolehkan pada keenam titik sampel ditampilkan Tabel 5.



Gambar 3. (a)= Erosi Percik di Titik Sampel VI, (b) Erosi Lembar di Titik Sampel I, (c) Erosi Alur di Titik Sampel IV, (d) Longsor di Wilayah Penelitian.

Tabel 5. Nilai Sifat Tanah dan Substratum pada Lahan Pertanian di Lereng Barat Laut Gunung Lawu

Sampel	Tanah efektif (cm)	Permeabilitas (cm/jam)	Substratum	Nilai t (mm/th)	BV (gr/cm ³)	Nilai T (ton/ha/th)	Potensi Laju Erosi A (ton/ha/th)	Ket
I	173	0.17	Melapuk	1.6	1.13	18.08	111.19	A > T
II	126	8.24	Melapuk	2.0	0.65	13.00	829.68	A > T
III	80	0.85	Melapuk	1.2	1.30	15.60	1922.92	A > T
IV	180	10.88	Melapuk	2.0	0.71	14.20	876.03	A > T
V	105	0.37	Melapuk	1.6	0.85	13.60	679.63	A > T
VI	110	0.09	Melapuk	1.6	0.94	15.04	102.93	A > T

Sumber: Observasi, Uji Laboratorium, dan Dokumentasi (2025).

Tabel 5 memberikan informasi bahwa erosi yang diperbolehkan (T) di keenam titik sampel relatif sama berkisar dari 13.00 ton/ha/th (titik sampel II) hingga tertinggi sebesar 18.08 ton/ha/th (titik sampel I). Titik sampel II memiliki erosi yang diperbolehkan terkecil karena memiliki BV paling rendah dibandingkan titik sampel lainnya. Berat volume yang rendah menunjukkan tanah yang kurang padat sehingga mudah tererosi maka memiliki erosi yang diperbolehkan rendah. Titik sampel I memiliki erosi yang diperbolehkan terbesar karena kombinasi antara faktor BV yang tinggi dan kedalaman tanah efektif yang dalam. Semakin dalam tanah efektif maka terdapat ruang memadai bagi air permukaan untuk terinfiltrasi dan solum yang dalam menunjukkan umur guna tanah menjadi tinggi, oleh karena dua hal tersebut maka erosi yang diperbolehkan akan tinggi (Sumarniasih *et al.*, 2023). Selain itu erosi yang diperbolehkan di titik sampel I relatif tinggi dibandingkan yang lain juga didukung oleh kondisi substratum yang telah melapuk. Kondisi substratum yang mengalami pelapukan membentuk batuan menjadi fragmen lebih kecil dan melemahkan gaya tarik menarik antar fragmennya sehingga proses infiltrasi serta perkolasi menjadi tinggi.

Wilayah penelitian Lereng Barat Laut Gunung Lawu memiliki rata-rata erosi yang diperbolehkan 14.92 dan rata-rata BV 0.76. Nilai erosi yang diperbolehkan antara lereng barat laut Gunung Lawu dengan wilayah lain di Indonesia tidak jauh berbeda. Nilai erosi yang diperbolehkan di wilayah penelitian lebih tinggi dibandingkan di Pulau Ambon, Maluku yang hanya memiliki rata-rata nilai erosi yang diperbolehkan sebesar 10.74 ton/ha/th (Wariunsora *et al.*, 2020), hal tersebut dikarenakan lereng barat laut Gunung Lawu memiliki kedalaman tanah efektif yang lebih dalam. Tanah yang lebih dalam dapat memberikan daya dukung bagi tanaman cukup panjang. Kemudian nilai erosi yang diperbolehkan di lereng barat laut Gunung Lawu lebih rendah dibandingkan di DAS Telagawaja, Bali (Erosi diperbolehkan=16.05 ton/ha/th dan BV=1.05) (Sumarniasih *et al.*, 2023) dan lebih rendah dibandingkan di Sub DAS Bango, Jawa Timur (Erosi diperbolehkan=25.58 ton/ha/th) (Nurkholis *et al.*, 2023). Hal tersebut disebabkan oleh BV di wilayah penelitian lebih rendah sehingga menunjukkan kepadatan tanah lebih buruk dan tidak tahan terhadap erosi.

3.9 Arahan Konservasi Lahan

Konservasi lahan merupakan upaya pemanfaatan tanah yang disesuaikan dengan kemampuannya sehingga tanah tidak mengalami kerusakan dan pemanfaatannya dapat secara lestari. Arahan konservasi lahan akan diberikan pada titik sampel yang memiliki nilai potensi laju erosi (A) lebih besar dibandingkan nilai erosi yang diperbolehkan (T) (Chornyy, 2022). Nilai A dan T beserta perbandingannya ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 6. Arahan Konservasi Lahan di Lereng Barat Laut Gunung Lawu

Sampel	Arahan Konservasi	Potensi Laju Erosi Setelah Arahan (ton/ha/th)
I	C = Pola tanaman tumpang gilir + mulsa jerami (6 ton/ha/th): loncang, kacang kapri, sawi, cabai P = Teras bangku baik	15.61
II	C = Sengon disertai semak P = Teras bangku baik	2.27
III	C = Sengon disertai semak P = Teras bangku baik	10.34
IV	C = Sengon disertai semak P = Teras bangku baik	4.70
V	C = Sengon disertai semak P = Teras bangku baik	3.65
VI	C = Kebun campuran kerapatan tinggi: sawi, loncang, cabai, jeruk P = Strip rumput permanen baik, rapat, dan berlajur	6.40

Sumber: Analisis Data, 2026.

Faktor penggunaan lahan (vegetasi dan pengelolaan lahan) merupakan faktor terkuat dalam menyebabkan erosi (Nahib *et al.*, 2024) dan faktor yang paling mudah diubah untuk mitigasi erosi (Hadi *et al.*, 2023) sehingga arahan konservasi lahan dilakukan dengan mengubah faktor vegetasi penutup (C) seperti penanaman *agroforestry* dan strip rumput dan mengubah faktor pengelolaan lahan (P) dapat berupa teras tanggul dan teras bangku hingga dapat mengubah nilai A menjadi lebih kecil atau sama dengan T (Nahib *et al.*, 2024). Arahan konservasi lahan yang disarankan untuk keenam titik sampel ditampilkan seperti Tabel 6.

Tabel 6 memberikan informasi bahwa arahan konservasi lahan pada keenam titik tidak seluruhnya berbeda. Titik sampel II, III, IV, V diberikan arahan konservasi vegetatif yang sama yakni sengan disertai semak. Penelitian di DAS Vidore, Pakistan juga menyampaikan pemilihan vegetasi harus cerdas sesuai potensi tanah atau harus dikorbankan untuk mengatasi degradasi lahan akibat erosi (Rashid *et al.*, 2025). Arahan konservasi lahan dengan mengorbankan tanaman sayuran beralih ke sengan disertai semak memerlukan kerjasama dari pemerintah, memerlukan kesadaran masyarakat untuk melestarikan alam dan dilakukan secara bertahap (dari yang tertinggi laju erosinya: III-IV-II-V). Sebagai contoh, pohon sengan telah sukses dikembangkan di wilayah Kecamatan Manuhing Raya, Kabupaten Gunung Mas, Kalimantan Tengah untuk menambah sumber ekonomi keluarga. Pohon sengan memiliki keunggulan pertumbuhan cepat (4-5 tahun), pasarnya luas, dan nilai ekonominya tinggi dengan harga perkubik Rp. 96.250,- (Rodi *et al.*, 2025). Kemudian mengenai arahan konservasi mekanik pada titik sampel II, III, IV, V dengan kemiringan lereng agak curam hingga curam diarahkan dengan teras bangku baik untuk mengurangi kemiringan lereng dan memperbesar infiltrasi (Aisyah *et al.*, 2022; Nahib *et al.*, 2024; Rashid *et al.*, 2025).

Titik sampel I dan VI memiliki nilai toleransi C dan P yang lebih tinggi dibandingkan titik sampel II, III, IV, V sehingga masih dapat diberikan arahan konservasi vegetatif dengan mempertahankan tanaman sayuran dan kebun campuran serta konservasi mekanik teras bangku. Titik sampel I pada saat ini menerapkan pola tanam rumput/ semak belukar kemudian diarahkan konservasi vegetatif menjadi pola tanam *inter cropping* atau tumpang sari dengan mulsa jerami. Pola tanam tumpang sari merupakan upaya penanaman beberapa macam vegetasi dalam satu tempat. Praktik tumpang sari dapat diterapkan untuk mengurangi tumbukan air hujan dan aliran permukaan dengan tanah. Tumpang sari dapat mengurangi aliran permukaan sebesar 26-43% (Nasir Ahmad *et al.*, 2020). Kemudian penambahan mulsa organik seperti jerami dapat membantu menjaga kelembapan tanah, mengurangi aliran permukaan dan memperlambat erosi (Sumarniasih *et al.*, 2023). Titik sampel VI arahan konservasi vegetatif dengan kebun campuran dan strip rumput untuk mengurangi aliran permukaan. Penelitian di DAS Citarum menunjukkan kebun campuran memiliki nilai erosi lebih kecil (1.5 ton/ha/th) dibandingkan penanaman monokultur (14.95 ton/ha/th) (Nahib *et al.*, 2024). Rumput yang dapat dikominasikan menjadi strip telah diteliti di China dan India serta dapat mengurangi aliran permukaan di antaranya *Bahia grass*, *Pennisetum grass*, *Melilotus grass*, *Bermuda grass*, *Palmarosa grass*, *Paanicum grass* (Nasir Ahmad *et al.*, 2020).

4. KESIMPULAN

Hasil dan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa tingkat bahaya erosi di lahan pertanian lereng barat laut Gunung Lawu pada titik sampel berada ditingkat sedang dan berat. Tingkat bahaya erosi dengan analisis Sistem Informasi Geografis dominan tingkat sedang (62.18%) dan sangat berat (32.04%). Erosi yang diperbolehkan pada titik sampel berkisar 13.00 – 18.08 ton/ha/th. Arahan konservasi lahan pada keenam titik sampel yakni mengubah vegetasi penutup (C) dan pengelolaan lahan (P). Kekurangan dan keterbatasan penelitian ini adalah ketidaksediaan data spasial untuk menganalisis erosi diperbolehkan yang berikutnya dijadikan dasar dalam penentuan arahan konservasi lahan. Data yang tidak tersedia yakni kedalaman tanah

efektif, permeabilitas tanah, kondisi substratum, dan berat volume (BV) tanah. Oleh karena itu analisis erosi yang diperbolehkan dan arahan konservasi lahan hanya dapat dilakukan pada enam titik sampel. Manfaat dan keunggulan penelitian ini telah memberikan informasi tingkat bahaya erosi yang terbaru tahun 2026 dan menginformasikan terjadinya peningkatan tingkat bahaya erosi dibandingkan tahun 2017. Kajian tingkat bahaya erosi di wilayah penelitian tahun 2017 oleh Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung (BPDASHL) Solo, didominasi tingkat bahaya erosi ringan (45.63%) dan berat (20.01%), kemudian hasil penelitian tingkat bahaya erosi meningkat didominasi erosi sedang (62.18%) dan sangat berat (32.04%). Manfaat kedua yakni memberikan informasi arahan konservasi lahan bagi petani yang lahannya dijadikan sebagai titik sampel. Rekomendasi untuk penelitian berikutnya yakni dapat dilakukan pada wilayah yang lebih luas dapat berupa kecamatan, kabupaten, maupun Daerah Aliran Sungai (DAS) dengan mengintegrasikan Sistem Informasi Geografis (SIG). Rekomendasi berikutnya dapat menggunakan model InVEST-SDR untuk menggambarkan perubahan erosi secara spasial-temporal.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung (BPDASHL) Solo, Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Bengawan Solo, Balai Pemantapan Kawasan Hutan (BPKH) XI Wilayah Yogyakarta, Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu (DPMPTSP) Kabupaten Karanganyar, Badan Perencanaan Penelitian dan Pengembangan (BAPERLITBANG) Kabupaten Karanganyar, Kelurahan Anggrasmanis, Kelurahan Gumeng, Kelurahan Segorogunung, Kelurahan Girimulyo, Kelurahan Berjo yang telah memberikan izin dan data yang berguna untuk penyusunan jurnal penelitian.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, B. N., Baskoro, D. P. T., & Murtiaksiono, K. (2022). Pendugaan erosi tanah dan perencanaan tutupan lahan hulu DAS Jeneberang, Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 27(2), 302–310. <https://doi.org/10.18343/jipi.27.2.302>
- Anggara, R. B., Manessa, M. D. M., & Setiadi, H. (2024). Pemetaan tingkat bahaya erosi di Desa Ciputri. *Media Komunikasi Geografi*, 25(1), 167–179. <https://doi.org/10.23887/mkg.v25i1.73245>
- Argaman, E., Fei, W., Yan, X., & Stavi, I. (2026). Adapting empirical soil erosion models to agrivoltaic systems: Limitations of RUSLE and factor-specific adaptations. *Soil and Tillage Research*, 257, 106969. <https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106969>
- Arsyad, S. (2010). *Konservasi tanah dan air* (Edisi 2, revisi). IPB Press.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2016). *Musim kemarau tahun ini, La-Nina diprediksi muncul*.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2024). *BMKG: Waspada bencana hidrometeorologi, La Nina berlangsung hingga April 2025*.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2025). *Ketika laut memanas, dunia berubah: El Nino super 2023–2024 dan dampaknya*.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2026, January). *Prediksi hujan bulanan*.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Karanganyar. (2024). *Kabupaten Karanganyar dalam angka 2024*.
- Chornyy, S. (2022). Soil loss tolerance for agricultural land of the Right-Bank Steppe of Ukraine. *Soil Science Annual*, 73(4), 156066. <https://doi.org/10.37501/soilsa/156066>
- Hadi, F., Syafjanuar, T. E., Arrahman, N., & Ramli, I. (2023). Nilai erosi dengan metode RUSLE dari pemanfaatan citra Sentinel-2 di Wilayah Sungai Pasee Peusangan. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 11(2), 172–187. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v11i2.523>

- Jemai, S., Kallel, A., Agoubi, B., & Abida, H. (2021). Soil erosion estimation in arid area by USLE model applying GIS and RS: Case of Oued El Hamma Catchment, South-Eastern Tunisia. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(6), 1293–1305. <https://doi.org/10.1007/s12524-021-01320-x>
- Kardhana, H., Solehudin, Wijayasari, W., & Rohmat, F. I. W. (2024). Assessing basin-wide soil erosion in the Citarum watershed using USLE method. *Results in Engineering*, 22, 102130. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102130>
- Kementerian Kehutanan, Direktorat Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial. (2013). *Peraturan Nomor P.4/V-SET/2013*.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Direktorat Jenderal Pengendalian Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung. (2017). *Peraturan Nomor P.10/PDASHL/SET/KUM.1/8/2017*.
- Legowo, B., Putra, S., Mufti, M. K. I., Purwanto, H., Rifai, H., Suryanto, W., & Purnama, B. (2023). Identification pyroclastic flow of magnetic minerals (Holocene volcano): A case study of paleo-volcano Lawu on the south side, Central Java, Indonesia. *Kuwait Journal of Science*, 50(4), 724–730. <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2023.04.011>
- Li, J., Xiong, M., Sun, R., & Chen, L. (2024). Temporal variability of global potential water erosion based on an improved USLE model. *International Soil and Water Conservation Research*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.03.005>
- Meinen, B. U., & Robinson, D. T. (2021). Agricultural erosion modelling: Evaluating USLE and WEPP field-scale erosion estimates using UAV time-series data. *Environmental Modelling & Software*, 137, 104962. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.104962>
- Mujiyo, Rahayu, Herawati, A., Safira, R., Romadhon, M. R., Istiqomah, N. M., Irmawati, V., Hardian, T., Anggita, A., Hasanah, K., & Utari, D. (2025). Assessment of soil cone index in agricultural land on the slope of Mount Lawu, Indonesia. *Soil Science Annual*, 76(4). <https://doi.org/10.37501/soilsa/209940>
- Naharuddin. (2020). *Konservasi tanah dan air*. CV Media Sains Indonesia.
- Nahib, I., Wahyudin, Y., Amhar, F., Ambarwulan, W., Nugroho, N. P., Pranoto, B., Cahyana, D., Ramadhani, F., Suwedi, N., Darmawan, M., Turmudi, T., Suryanta, J., & Karolinoerita, V. (2024). Analysis of factors influencing spatial distribution of soil erosion under diverse subwatershed based on geospatial perspective: A case study at Citarum Watershed, West Java, Indonesia. *Scientifica*, 2024, 7251691. <https://doi.org/10.1155/2024/7251691>
- Nasir Ahmad, N. S. B., Mustafa, F. B., Muhammad Yusoff, S. @. Y., & Didams, G. (2020). A systematic review of soil erosion control practices on the agricultural land in Asia. *International Soil and Water Conservation Research*, 8(2), 103–115. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.04.001>
- Nurkholis, M. F., Andawayanti, U., & Prasetyorini, L. (2023). Analisis tingkat bahaya erosi dan arahan penggunaan lahan di Sub DAS Bango berbasis sistem informasi geografis. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(2), 672–685. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2023.003.02.057>
- Putra, A., Syarief, A., & Hermon, D. (2018). Penilaian erosi berdasarkan metode USLE dan arahan konservasi pada DAS Air Dingin bagian hulu Kota Padang–Sumatera Barat. *Jurnal Geografi*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.24114/jg.v10i1.7176>
- Rashid, M., Haider, S., Rizwan, A., Naseer, M. W., Aslam, M. F., Hamza, M., Nadeem, A., Haider, M. A., Abbasi, H. K. J., & Tariq, M. A. U. R. (2025). Mitigating soil erosion in arid landscapes: Integrating RUSLE and geospatial analysis for sustainable land management. *Environmental Challenges*, 20, 101210. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101210>
- Rizkiani, A. B., & Wilis, R. (2026). Analysis of the level of erosion hazard on land use change in the Tenggulun Hulu Sub-Watershed, Aceh Tamiang District. *GeoEco*, 11(2), 373–393. <https://doi.org/10.20961/ge.v11i2.98666>

- Rodi, Helmi, M., & Hatta, G. M. (2025). Analisis nilai ekonomi kayu sengon di Kecamatan Manuhing Raya, Kabupaten Gunung Mas, Kalimantan Tengah. *Jurnal Hutan Tropis*, 13(1). <https://doi.org/10.20527/jht.v13i1.22185>
- Saputra, I. K. D., Tika, I. W., & Yulianti, N. L. (2021). Effects types of mulch utilization on physical properties of soil and growth rate of tomato plants (*Lycopersicum esculentum* L.). *BETA (Biosistem dan Teknik Pertanian)*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.24843/JBETA.2021.v09.i01.p01>
- Sekretariat Kabinet Republik Indonesia. (2020). *BMKG: La Nina berkembang di Samudra Pasifik, waspadai dampaknya di Indonesia*.
- Simanjuntak, A. V. H., Palgunadi, K. H., Syaifuddin, F., Muksin, U., Riama, N. F., Sirait, A. M. M., Setiadi, T. A. P., Kusumawati, D., Sahara, D. P., Anshori, M., Triahandini, A., Suryanto, W., Sulandari, B., Saleh, H. M., Iskandar, Y., Ahmadiyah, A. S., & Warnana, D. D. (2026). Evidence of a new backthrust fault system from the 2022 southeast Java, Indonesia earthquake sequence: Insights from seismological analysis. *Journal of Asian Earth Sciences*, 295, 106845. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2025.106845>
- Sumarniasih, S. M., Trigunasih, N. M., & Surbakti, M. (2023). Penentuan tingkat erosi dan perencanaan konservasi lahan di Sub DAS Telagawaja Kabupaten Karangasem Provinsi Bali. *Agrotechnology Research Journal*, 7(1), 65–71. <https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v7i1.76266>
- Taloor, A. K., Khajuria, V., Parsad, G., Bandral, S., Mahajan, S., Singh, S., Sharma, M., & Kothiyari, G. C. (2025). Geospatial assessment of soil erosion in the Basantar and Devak watersheds of the NW Himalaya: A study utilizing USLE and RUSLE models. *Geosystems and Geoenvironment*, 4(2), 100355. <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2025.100355>
- Wariunsora, S., Osok, R. M., & Talakua, S. (2020). Pendugaan erosi tanah dan arahan rehabilitasi lahan berbasis SIG di DAS Wai Ela Negeri Lima Jazirah Leihitu Pulau Ambon. *Jurnal Budidaya Pertanian*, 16(1), 11–20. <https://doi.org/10.30598/jbdp.2020.16.1.11>
- Yusuf, S. M., Murtilaksono, K., & Laraswati, D. M. (2020). Spatial mapping of soil erosion prediction through integration USLE model into Geography Information System. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 10(4), 594–606. <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.4.594-606>