

Estimasi Laju Erosi dan Sedimentasi Daerah Tangkapan Air Waduk Jatigede

(Estimation of Erosion and Sedimentation Rates in the Jatigede Reservoir Catchment Area)

Rehan Maulana Putra Putra*, Dede Kosasih, Nurdin

Program Studi Kehutanan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Universitas Kuningan

*Corresponding email: 20220710006@uniku.ac.id

ABSTRACT

Jatigede Reservoir is a strategic water resources infrastructure in West Java that supports raw water supply, irrigation, hydropower generation, flood control, fisheries, and socio-economic activities. However, the sustainability of these functions is threatened by erosion in the catchment area, which contributes to reservoir sedimentation. The sedimentation rate is estimated at approximately 7.04 mm year⁻¹ with a volume of ± 1.07 million m³, while watershed erosion reaches 5.320 mm year⁻¹. These processes accelerate reservoir siltation and reduce storage capacity, emphasizing the need for effective watershed management. This study applied the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) to estimate soil erosion and the Sediment Delivery Ratio (SDR) to predict sediment yield. The analysis utilized soil type maps, Digital Elevation Model (DEM) data, Sentinel satellite imagery, and monthly rainfall data collected over a ten-year period. A literature review was also conducted to develop practical conservation recommendations. The results showed that erosion in the Jatigede Reservoir catchment area was generally low, with an average rate of 16.703 tons ha⁻¹ year⁻¹, and was dominated by very slight to slight erosion classes covering approximately 88.81% of the area. Higher erosion rates were concentrated on steep slopes and areas with limited vegetation cover. The average sediment yield was 3.983 tons ha⁻¹ year⁻¹ (SDR = 0.23), equivalent to approximately 786 thousand m³ year⁻¹. Based on the reservoir's dead storage capacity of 103 million m³, the estimated service life of the reservoir is about 131 years. To reduce erosion and sedimentation, the study recommends the implementation of soil conservation measures to support the long-term sustainability of the reservoir.

Keywords: Catchment Area; Erosion; GIS; RUSLE; Sedimentation.

ABSTRAK

Waduk Jatigede merupakan infrastruktur sumber daya air strategis di Jawa Barat yang berfungsi untuk penyediaan air baku, irigasi, pembangkit listrik tenaga air, pengendalian banjir, serta mendukung perikanan dan aktivitas sosial ekonomi. Namun, keberlanjutan fungsi tersebut terancam oleh tingginya laju erosi di daerah tangkapan air yang memicu sedimentasi signifikan. Laju sedimentasi tercatat sekitar 7,04 mm tahun⁻¹ dengan volume $\pm 1,07$ juta m³, sedangkan erosi di DAS mencapai 5,320 mm tahun⁻¹. Proses ini menyebabkan pendangkalan waduk dan penurunan kapasitas tampung, sehingga diperlukan pengelolaan DAS secara terpadu. Penelitian ini menggunakan metode *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) untuk mengestimasi laju erosi lalu menggunakan *Sediment Delivery Ratio* untuk prediksi sedimentasi. Data yang digunakan meliputi peta jenis tanah, data DEM (Digital Elevation Model), citra satelit Sentinel, serta data curah hujan bulanan selama 10 tahun. Selain itu, dilakukan studi literatur untuk merumuskan rekomendasi konservasi yang aplikatif. Hasil analisis menunjukkan bahwa erosi di daerah tangkapan Waduk Jatigede tergolong rendah dengan rata-rata 16,703 ton ha⁻¹ tahun⁻¹, didominasi kelas erosi sangat ringan hingga ringan ($\pm 88,81\%$). Erosi tinggi terbatas pada lereng curam dan wilayah dengan tutupan vegetasi minim. Rata-rata hasil sedimen sebesar 3,983 ton ha⁻¹ tahun⁻¹ (SDR 0,23) atau sekitar 786 ribu m³ per tahun. Dengan kapasitas tampungan mati sebesar 103 juta m³, umur layanan waduk diperkirakan sekitar 131 tahun. Sebagai bagian dari rekomendasi praktis untuk

mengurangi laju erosi dan sedimentasi di daerah tangkapan air, pendekatan konservasi yang diusulkan adalah konservasi tanah. Teknik konservasi tanah bertujuan untuk meminimalkan laju erosi dan sedimentasi.

Kata Kunci: Daerah Tangkapan Air; Erosi; Sedimentasi; RUSLE; SIG.

1. PENDAHULUAN

Waduk Jatigede merupakan infrastruktur sumber daya air strategis di Provinsi Jawa Barat yang dibangun dengan membendung Sungai Cimanuk di Kabupaten Sumedang dan berfungsi sebagai waduk multifungsi untuk penyediaan air baku, irigasi, PLTA, serta pengendalian banjir, sekaligus mendukung perikanan dan memberikan dampak sosial-ekonomi bagi masyarakat (Kementrian PUPR, 2019). Namun, keberlanjutan fungsinya menghadapi ancaman serius akibat tingginya erosi dan sedimentasi di daerah tangkapan air. Laporan (Dewan Sumber Daya Air Nasional, 2021) menunjukkan laju sedimentasi mencapai 7,04 mm tahun⁻¹ dengan akumulasi sekitar 1,07 juta m³ di bendungan, serta sedimentasi 5,320 mm tahun⁻¹ di wilayah DAS, yang berpotensi menurunkan kapasitas tampung waduk secara signifikan.

Erosi tanah menjadi penyebab utama sedimentasi, di mana curah hujan tinggi mengangkut partikel tanah melalui aliran permukaan ke badan air dan mengendapkannya di dasar waduk, sehingga memicu pendangkalan (Obialor *et al.*, 2019; Pradana Putra *et al.*, 2024; Tatipata *et al.*, 2015). Proses ini mencerminkan keterkaitan erat antara erosi di hulu DAS dan sedimentasi di hilir (Gonzalez Rodriguez *et al.*, 2023; Krepski *et al.*, 2024). Estimasi kehilangan tanah dapat dilakukan menggunakan model Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) yang dikembangkan oleh Renard *et al.* (1997), dengan mempertimbangkan faktor R, K, LS, C, dan P, serta dikenal efektif untuk estimasi erosi jangka panjang.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis dan memetakan tingkat erosi serta sedimentasi di daerah tangkapan air Waduk Jatigede menggunakan model RUSLE dan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG), serta menyusun rekomendasi konservasi tanah dan air pada wilayah prioritas guna mengurangi laju erosi dan sedimentasi serta mendukung pengelolaan daerah tangkapan air secara berkelanjutan.

2. METODOLOGI

2.1. Desain Penelitian

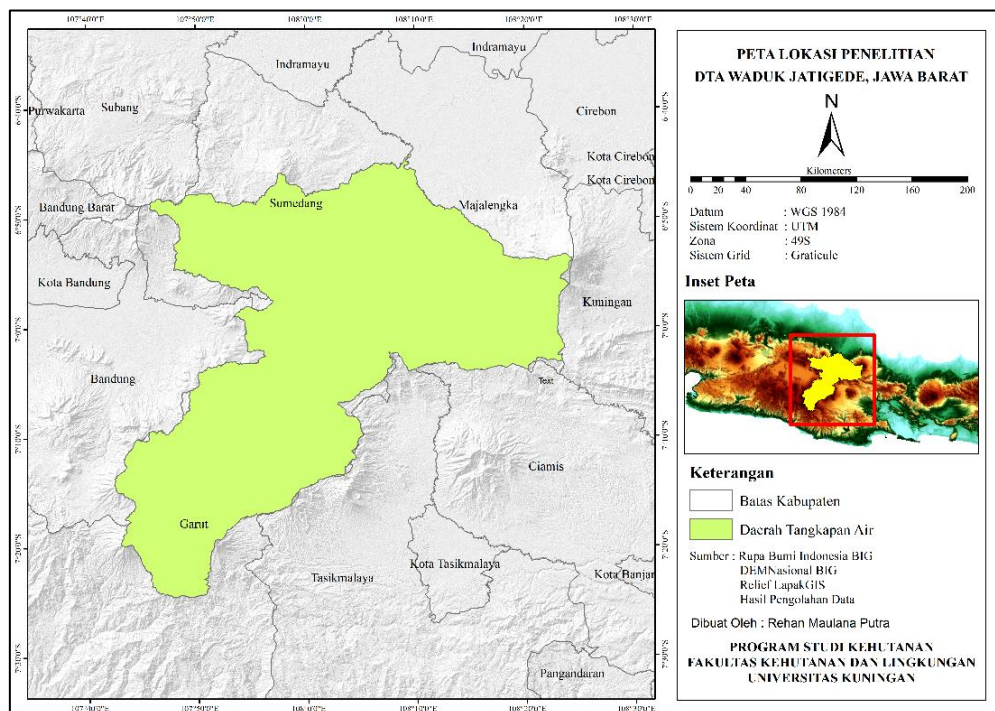
Desain penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk mengkaji erosi dan sedimentasi di Daerah

Tangkapan Air (DTA) Waduk Jatigede. Pendekatan ini bertujuan menggambarkan kondisi serta sebaran tingkat erosi secara keruangan.

Metode yang digunakan adalah *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) melalui lima faktor, yaitu erosivitas hujan (R), erodibilitas tanah (K), panjang dan kemiringan lereng (LS), penutup lahan (C), serta tindakan konservasi (P). Data diolah menggunakan SIG untuk menghasilkan peta sebaran erosi dan menghitung potensi sedimentasi. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar rekomendasi pengelolaan lahan dan konservasi tanah guna menekan laju sedimentasi di Waduk Jatigede.

2.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di DTA Waduk Jatigede yang mencakup wilayah Kabupaten Garut, Sumedang dan Majalengka, 6°44'00" - 7°12'00" Lintang Selatan dan 107°46'00" - 108°12'00" Bujur Timur seperti pada Gambar 1. Penelitian dilakukan pada bulan September 2025 hingga Januari 2026.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.3. Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah mencakup wilayah Daerah Tangkapan Air (DTA) Waduk Jatigede, yang secara administratif meliputi tiga kabupaten di Provinsi Jawa Barat, yakni Kabupaten Sumedang, Kabupaten Garut, dan Kabupaten Majalengka. Karakteristik populasi

DTA meliputi curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, serta tutupan lahan yang terdapat di dalam kawasan DTA Waduk Jatigede.

2.4. Operasional Variabel

Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi faktor-faktor yang memengaruhi erosi berdasarkan model RUSLE, yaitu curah hujan (faktor erosivitas/R), jenis tanah (faktor erodibilitas/K), kemiringan dan panjang lereng (faktor LS), tutupan atau penggunaan lahan (faktor C), serta tindakan konservasi tanah dan air (faktor P). Variabel terikat terdiri atas laju erosi dan sedimentasi. Laju erosi didefinisikan sebagai besarnya kehilangan tanah dari suatu satuan lahan dalam satuan waktu tertentu yang dinyatakan dalam ton per hektar per tahun ($\text{ton ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$), sedangkan sedimentasi merupakan jumlah sedimen yang terangkut dan berpotensi terendapkan pada daerah tangkapan air yang dihitung menggunakan pendekatan *Sediment Delivery Ratio* (SDR) dan dinyatakan dalam $\text{ton ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$.

2.5. Teknik dan Instrumen Pengambilan Data

Metode penelitian menggunakan model *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) untuk memperkirakan kehilangan tanah akibat erosi secara lebih akurat, sebagai pengembangan dari USLE oleh Renard *et al.* (1997). Model ini mempertimbangkan lima faktor utama, yaitu erosivitas hujan (R), erodibilitas tanah (K), panjang dan kemiringan lereng (LS), penutup lahan (C), serta praktik konservasi (P), dan banyak digunakan karena kesederhanaannya serta kemampuannya dalam mengestimasi laju erosi rata-rata jangka panjang, khususnya pada wilayah yang dipengaruhi curah hujan dan aliran permukaan.

Penelitian ini memanfaatkan data primer dan sekunder berupa data spasial dan klimatologis. Data curah hujan periode 2014-2024 diperoleh dari Climate Hazards Center (<https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>) untuk menghitung faktor R. Data jenis tanah skala 1 : 25.000 dari Sistem Informasi Sumberdaya Lahan Pertanian, Kementerian Pertanian digunakan untuk menentukan faktor K. Data Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) resolusi 8 m dari Badan Informasi Geospasial (<https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/unduh>) dimanfaatkan untuk menghitung faktor LS dan faktor P sebagai acuan dari praktik pertanian menurut garis kontur. Selain itu, citra Sentinel-2 resolusi 10 m tahun 2020-2025 dari Copernicus Open Access Hub (<https://dataspace.copernicus.eu>) atau Google Earth Engine digunakan untuk menghitung NDVI dalam menentukan faktor C. Seluruh data tersebut diintegrasikan untuk menghasilkan estimasi laju erosi secara spasial sesuai parameter dalam

model RUSLE. Rekomendasi praktis untuk mengurangi erosi dan sedimentasi di DTA Waduk Jatigede disusun berdasarkan hasil analisis spasial tingkat erosi dan potensi sedimentasi dari pemodelan RUSLE dan SDR. Tindakan konservasi vegetatif dan mekanik dirumuskan melalui studi literatur dengan mempertimbangkan kelas erosi, potensi sedimentasi, dan kondisi biofisik wilayah.

2.6. Teknik Analisis Data

2.6.1. Delineasi Daerah Tangkapan Air

Delineasi Daerah Tangkapan Air (DTA) merupakan prasyarat esensial untuk mengidentifikasi sumber limpasan dan dinamika sedimen yang bermuara ke Waduk Jatigede (Ward *et al.*, 2011). Pemodelan spasial ini diekstraksi dari data Digital Elevation Model (DEM) Nasional (DEMNAS) beresolusi 8 meter menggunakan Hydrology Tool pada perangkat lunak ArcGIS. Tahapan analisisnya mencakup proses *Fill*, *Flow Direction*, *Flow Accumulation*, penentuan titik outlet, hingga delineasi sub-catchment otomatis menggunakan Watershed Tool (ESRI, 2021; Jenson & Domingue, 1988). Akurasi delineasi DTA ini menjadi basis spasial yang krusial untuk analisis lanjutan, meliputi estimasi erosi menggunakan metode *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE), simulasi sedimentasi, serta formulasi strategi pengelolaan DTA terpadu guna memitigasi laju sedimentasi waduk.

2.6.2. Metode RUSLE

Metode RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) merupakan model empiris yang dikembangkan oleh (Renard *et al.*, 1997; Wischmeier & Smith, 1978) untuk memperkirakan kehilangan tanah akibat erosi permukaan. Rumus dasar RUSLE pada Persamaan 1 berikut:

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

Keterangan:

- A = kehilangan tanah rata-rata tahunan ($\text{ton ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$),
- R = faktor erosivitas hujan,
- K = faktor erodibilitas tanah,
- LS = faktor panjang dan kemiringan lereng,
- C = faktor penutup lahan,
- P = faktor Tindakan konservasi.

Tabel 1. Klasifikasi Erosi

Kelas	Laju Erosi (ton ha ⁻¹ tahun ⁻¹)	Keterangan
I	<15	Sangat Ringan
II	15-60	Ringan
III	60-180	Sedang
IV	180-480	Berat
V	>480	Sangat Berat

Sumber: Permenhut No. P32/Menhut-II/2009

2.6.3. Analisis Sebaran dan Erosivitas Curah Hujan

Distribusi spasial curah hujan diinterpolasi menggunakan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) (Rochmah *et al.*, 2023). Dalam pemodelan *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE), faktor erosivitas hujan (R) merupakan parameter krusial yang merepresentasikan energi kinetik hujan terhadap erosi tanah (Renard *et al.*, 1997; Wischmeier & Smith, 1978). Mengingat keterbatasan data intensitas hujan jam-jaman di Indonesia, nilai R tahunan dikuantifikasi menggunakan persamaan Lenvain (1975) yang diadopsi oleh Banuwa (2013) sebagai pendekatan yang lebih praktis dan representatif (Arsyad, 2010):

$$R = 2,21 \times CH^{1,36} \quad (2)$$

Keterangan:

R = indeks erosivitas hujan

CH = curah hujan bulanan rata-rata (cm)

2.6.4. Erodibilitas Tanah

Indeks erodibilitas tanah (K) menunjukkan tingkat kerentanan tanah terhadap proses erosi akibat tumbukan butir hujan dan aliran permukaan. Nilai erodibilitas dipengaruhi oleh berbagai sifat tanah, seperti tekstur, kandungan bahan organik, struktur tanah, dan permeabilitas. Tanah dengan dominasi fraksi debu dan pasir sangat halus umumnya lebih rentan terhadap erosi dibandingkan tanah yang memiliki struktur agregat yang baik. Sebaliknya, kandungan bahan organik yang tinggi cenderung meningkatkan stabilitas agregat tanah sehingga dapat menurunkan tingkat erodibilitas tanah (Renard *et al.*, 1997).

Dalam penelitian ini, nilai faktor K tidak ditentukan melalui pengukuran langsung di lapangan maupun analisis laboratorium, melainkan mengacu pada nilai erodibilitas yang telah digunakan dalam berbagai penelitian sebelumnya berdasarkan kesesuaian jenis tanah yang

terdapat pada wilayah penelitian. Pendekatan ini dipilih karena keterbatasan data rinci mengenai sifat fisik tanah, seperti kandungan bahan organik, struktur tanah, dan permeabilitas, yang merupakan parameter penting dalam penentuan nilai K. Penggunaan nilai K dari berbagai sumber literatur dilakukan dengan mempertimbangkan kesamaan karakteristik jenis tanah, namun perbedaan kondisi lingkungan, penggunaan lahan, dan pengelolaan lahan antarwilayah dapat menyebabkan variasi kandungan bahan organik maupun permeabilitas tanah sehingga menjadi sumber ketidakpastian dalam estimasi erosi yang dihasilkan. Nilai erodibilitas (K) yang digunakan berdasarkan jenis tanah disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Erodibilitas Tanah

No.	Jenis Tanah	Nilai K
1	Aluvial Gleik	0,29
2	Andosol Distrik	0,28
3	Andosol Eutrik	0,28
4	Andosol Litik	0,28
5	Gawir (Escarpments)	0,00
6	Gleisol Distrik	0,29
7	Gleisol Eutrik	0,29
8	Grumusol Pelik	0,16
9	Kambisol Distrik	0,23
10	Kambisol Eutrik	0,23
11	Kambisol Gleik	0,23
12	Kambisol Humik	0,23
13	Kambisol Litik	0,23
14	Kambisol Oksik	0,23
15	Latosol Haplik	0,26
16	Latosol Oksik	0,26
17	Litosol	0,13
18	Mediterranean Haplik	0,16
19	Nitosol Distrik	0,25
20	Nitosol Eutrik	0,25
21	Podsolik Haplik	0,20
22	Tubuh Air	0,00

Sumber: (Bappenas, 2012; Mohammed & Asmamaw, 2021; Suryanto *et al.*, 2025).

2.6.5. Analisis Panjang dan Kemiringan Lereng

Analisis kelerengan dilakukan menggunakan teknik pemodelan permukaan (*surface analysis*) untuk mengekstraksi turunan data *Digital Elevation Model* (DEM) ke dalam format raster dengan satuan derajat (°) atau persen (%). Parameter ini menjadi dasar dalam penentuan faktor

panjang dan kemiringan lereng (LS). Faktor L didefinisikan sebagai jarak horizontal dari titik awal limpasan hingga titik menurunnya gradien atau masuknya aliran ke saluran tertentu (Renard *et al.*, 1997). Dalam penelitian ini, nilai LS dikuantifikasi menggunakan data DEM Nasional (DEMNAS) resolusi 8 meter berdasarkan algoritma Moore & Burch (1986) dalam Perveen & Kumar (2015) sebagai Persamaan 3 berikut:

$$LS = \left(\frac{\text{Flow Accumulation} \times \text{Cell Size}}{22.13} \right)^{0.4} \times \left(\frac{\sin(\text{Slope}) \times 0.01745}{0.0896} \right)^{1.3} \quad (3)$$

Keterangan:

Cell Size = Ukuran resolusi data DEM (pada penelitian 8 m)

Sin (Slope) = Nilai sudut lereng dalam derajat

2.6.6. Analisis Penutup Vegetasi

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) digunakan sebagai pendekatan untuk mengestimasi faktor penutup dan pengelolaan lahan (C) dalam model RUSLE melalui analisis kerapatan vegetasi yang diperoleh dari rasio normalisasi antara kanal *near-infrared* (NIR) dan red (R) (Rouse *et al.*, 1973). Nilai NDVI mencerminkan tingkat kehijauan dan kerapatan vegetasi yang berperan dalam melindungi permukaan tanah dari energi tumbukan butir hujan serta mengurangi aliran permukaan. Penggunaan NDVI juga relatif efektif dalam mereduksi pengaruh gangguan atmosfer dan variasi pencahayaan pada data penginderaan jauh.

Dalam penelitian ini, NDVI digunakan sebagai indikator utama untuk menduga faktor C dengan asumsi bahwa semakin tinggi nilai NDVI maka semakin rapat tutupan vegetasi dan semakin rendah nilai faktor C. Namun demikian, pendekatan ini memiliki keterbatasan karena faktor C dalam RUSLE tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi biomassa hijau atau tutupan tajuk vegetasi, tetapi juga oleh komponen lain seperti penutupan permukaan tanah (*surface cover*), residu tanaman, kekasaran permukaan tanah, serta praktik pengelolaan lahan. Oleh karena itu, nilai C yang diperoleh dari transformasi NDVI lebih merepresentasikan pengaruh tutupan vegetasi terhadap erosi dan belum sepenuhnya menggambarkan seluruh komponen penyusun faktor C pada kondisi lapangan. Nilai NDVI dihitung menggunakan Persamaan 4 sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{\text{Band NIR} - \text{Red}}{\text{Band NIR} + \text{Red}} \quad (4)$$

Dalam konteks pemodelan erosi, faktor penutup lahan (C) diekstraksi dari nilai NDVI menggunakan pendekatan transmisi cahaya menurut (Durigon *et al.*, 2014):

$$C = \frac{(-NDVI+1)}{2} \quad (5)$$

Keterangan:

C = Faktor penutup vegetasi

NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index* (Kerapatan Vegetasi)

Tabel 3. Klasifikasi NDVI

Kelas	NDVI	Keterangan
I	-1 s/d -0,03	Lahan tidak bervegetasi
II	-0,03 s/d 0,15	Kehijauan sangat rendah
III	0,15 s/d 0,25	Kehijauan rendah
IV	0,26 s/d 0,35	Kehijauan sedang
V	0,36 s/d 1,00	Kehijauan tinggi

Sumber: Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.12/Menhut-II/2012

2.6.7. Analisis Tindakan Konservasi

Faktor pengelolaan lahan (P) menggambarkan pengaruh berbagai praktik konservasi tanah dan air yang diterapkan untuk mengurangi volume serta kecepatan limpasan permukaan sehingga dapat menekan laju erosi. Nilai faktor P dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan pendekatan praktik konservasi pertanian kontur yang disesuaikan dengan kelas kemiringan lereng. Kemiringan lereng diperoleh dari analisis data *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS) menggunakan perangkat Sistem Informasi Geografis (SIG), kemudian diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas lereng yang selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai P berdasarkan tabel konservasi pertanian kontur yang mengacu pada (Wischmeier & Smith, 1978).

Pendekatan ini digunakan dengan asumsi bahwa efektivitas tindakan konservasi dalam mengendalikan erosi dipengaruhi oleh tingkat kelerengan lahan. Namun, karena keterbatasan data spasial yang menggambarkan kondisi aktual penerapan praktik konservasi di lapangan, nilai P yang digunakan merupakan nilai pendekatan yang disesuaikan dengan kondisi lereng dan penggunaan lahan yang tersedia.

Tabel 4. Tindakan Konservasi

Tindakan Konservasi	Nilai P
Pengelolaan Tanah dan Penanaman Menurut Garis Kontur	
Kemiringan 0-8%	0,50
Kemiringan 9-20%	0,75
Kemiringan lebih dari 20%	0,90

Sumber: Arsyad (2010)

2.6.7. Analisis Potensi Besarnya Sedimentasi dan Umur Layanan Waduk

Estimasi muatan sedimen yang mencapai outlet Daerah Tangkapan Air (DTA) dihitung menggunakan pendekatan *Sediment Delivery Ratio* (SDR). SDR merupakan rasio antara volume sedimen yang terangkut hingga ke titik keluaran terhadap total erosi yang terjadi di seluruh wilayah tangkapan (Cahyono *et al.*, 2017; Wulandari & Cahyono, 2020). Hasil sedimen (*Sediment Yield*/SY) dinyatakan dalam satuan ton ha⁻¹ tahun⁻¹ untuk mencerminkan akumulasi massa sedimen per satuan luas dalam periode tahunan. Secara matematis, perolehan nilai SY dikuantifikasi sebagai Persamaan 6 berikut:

$$SY = SDR \times Ea \quad (6)$$

Keterangan:

SY = Hasil sedimen per satuan luas (ton ha⁻¹ tahun⁻¹)

Ea = Laju Erosi (ton ha⁻¹ tahun⁻¹)

SDR = *Sediment Delivery Ratio*

Sediment Delivery Ratio dihitung menggunakan persamaan mengacu Williams dan Berndt (1972) pada (Cahyono *et al.*, 2017; Wulandari & Cahyono, 2020) Persamaan 7 berikut:

$$SDR = 0,5656 \times A^{-0,3} \quad (7)$$

Keterangan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*

A = Luas DAS/DTA (km²)

Umur layanan waduk dihitung menggunakan persamaan Berat Sedimen mengacu pada (Samudera *et al.*, 2021) Persamaan 8-10 berikut:

$$Berat\ Sedimen = SY \times A\ DAS \quad (8)$$

Keterangan:

Berat sedimen = Berat sedimen (ton)

SY = Hasil sedimen per satuan luas (ton ha⁻¹)

A DAS = Luas DAS/DTA (ha)

$$VSedimen = \frac{\text{Berat Sedimen}}{\rho \text{ Jenis Tanah}} \quad (9)$$

Keterangan:

V_{sedimen} = Volume sedimen waduk (m^3)

Berat sedimen = Berat sedimen (ton)

ρ Jenis tanah = 1,3 ton m^{-3} (umum digunakan dalam studi sedimentasi (Vanoni, 1975; Morris dan Fan, 1998)).

$$Lt = \frac{Vt}{VSedimen} \quad (10)$$

Keterangan:

Lt = Umur layanan waduk (tahun)

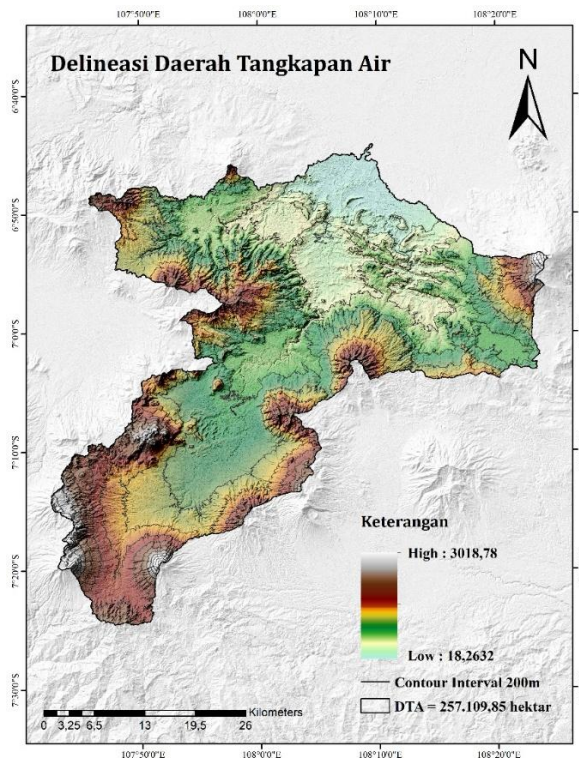
Vt = Volume tampungan mati waduk (m^3)

V_{sedimen} = Volume sedimen waduk (m^3)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

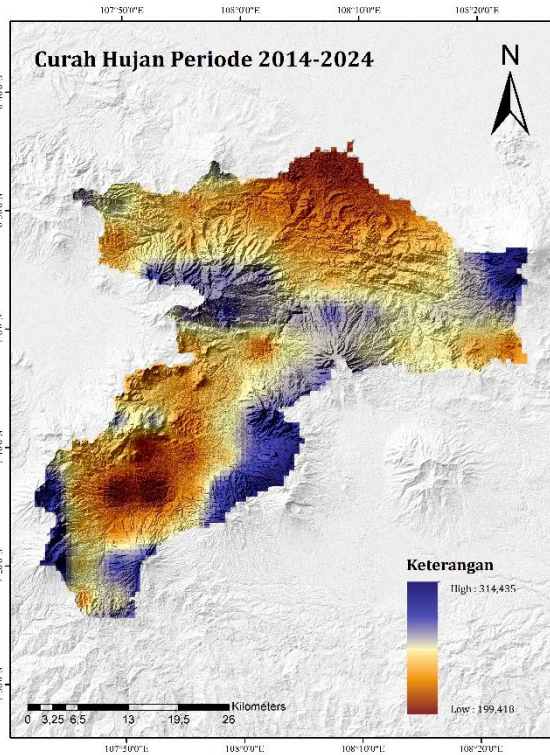
3.1. Daerah Tangkapan Air

Hasil delineasi berbasis DEM Nasional dan analisis spasial menggunakan ArcGIS menunjukkan bahwa DTA Jatigede mencakup wilayah yang luas di Kabupaten Sumedang, Majalengka, dan Garut, dengan batas hidrologis yang terbentuk melalui pemodelan arah dan akumulasi aliran permukaan sesuai kondisi elevasi dan kontur wilayah pada Gambar 1, dengan total luas hasil delineasi sebesar 257.109,85 hektar.

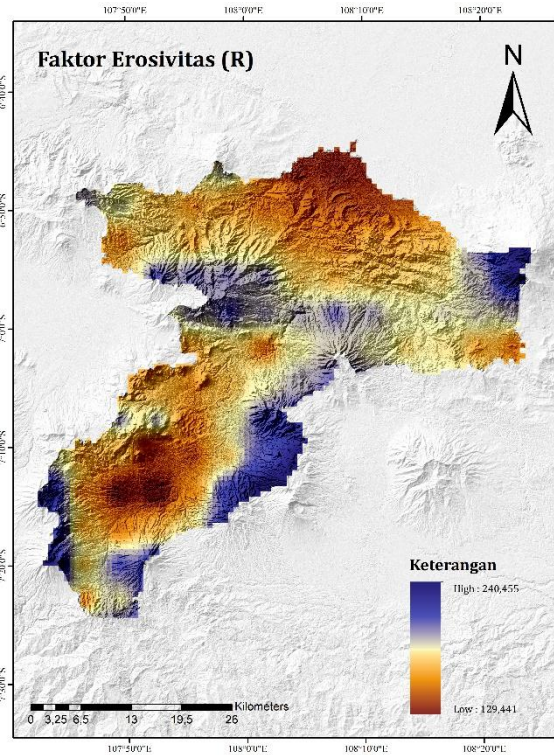


Gambar 1. Daerah Tangkapan Air

3.2. Erosivitas Hujan



Gambar 2. Curah Hujan Rata-Rata Bulanan



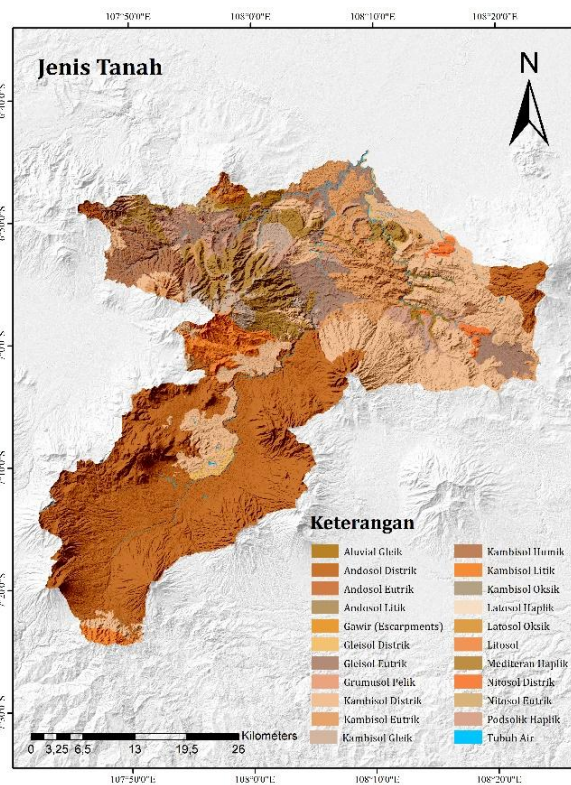
Gambar 3. Faktor R

Analisis data curah hujan bulanan selama periode 10 tahun menunjukkan bahwa wilayah DTA Waduk Jatigede memiliki variasi spasial curah hujan yang relatif tinggi, dengan kisaran nilai sekitar ± 199 mm hingga ± 314 mm per bulan yang terlihat pada Gambar 2. Distribusi curah hujan yang lebih besar umumnya terkonsentrasi pada bagian barat, barat daya, dan timur laut wilayah DTA, sedangkan bagian timur menunjukkan curah hujan yang relatif lebih rendah. Pola distribusi tersebut mencerminkan pengaruh faktor geografis serta kondisi topografi yang bergelombang hingga berbukit, yang berperan dalam meningkatkan intensitas hujan lokal terutama pada wilayah hulu DAS.

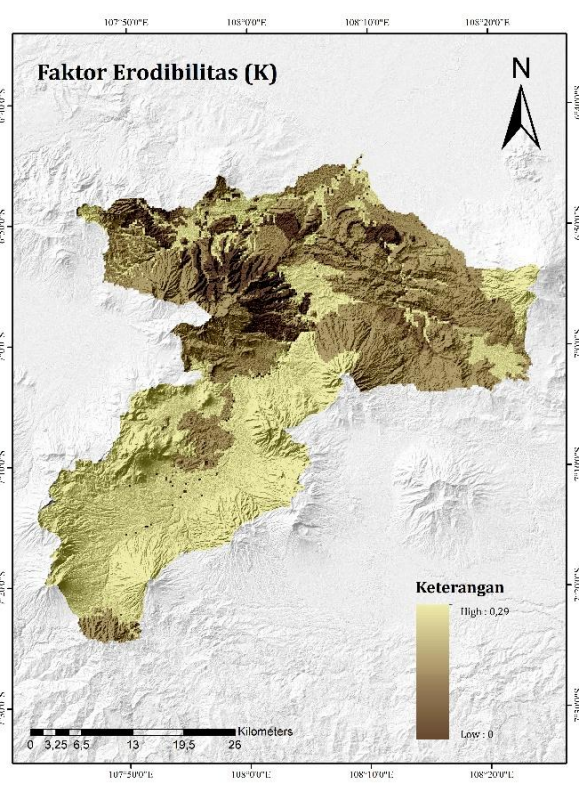
Hasil analisis data erosivitas hujan menunjukkan hubungan spasial yang konsisten antara curah hujan dan tingkat erosivitasnya di wilayah DTA Waduk Jatigede. Area yang menerima curah hujan lebih tinggi cenderung memiliki nilai faktor erosivitas hujan (R) yang lebih besar. Berdasarkan hasil analisis, nilai faktor R di wilayah ini berkisar antara ± 129 cm hingga ± 240 cm terlihat pada Gambar 3, yang mengindikasikan tingkat erosivitas hujan pada kategori sedang hingga tinggi. Kondisi tersebut sejalan dengan konsep bahwa peningkatan jumlah dan intensitas curah hujan akan meningkatkan energi kinetik butir hujan, sehingga memperbesar potensi terjadinya erosi tanah (Chen *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2020).

3.3. Erodibilitas Tanah

Hasil analisis di DTA Waduk Jatigede menunjukkan nilai K berkisar antara 0 - 0,29 dengan kategori rendah hingga sedang, di mana variasi spasialnya selaras dengan sebaran jenis tanah berdasarkan data tabel. Nilai K relatif tinggi (0,28 - 0,29) ditemukan pada tanah Aluvial Gleik, Gleisol Distrik dan Eutrik, serta Andosol Distrik dan Eutrik yang dominan di wilayah tengah, utara dan timur laut yang terlihat pada Gambar 4 dan 5, yang mencerminkan keberadaan tanah bertekstur lebih halus seperti Inceptisol dan Alfisol dengan kerentanan tinggi terhadap dispersi dan erosi permukaan (Barchia *et al.*, 2023).



Gambar 4. Jenis Tanah



Gambar 5. Erodibilitas

Berdasarkan Tabel 5, wilayah DTA Waduk Jatigede didominasi oleh jenis tanah Andosol Distrik dengan luas 102.747,02 ha (40,02%), diikuti Kambisol Distrik seluas 56.646,38 ha (22,06%), Kambisol Eutrik seluas 21.097,60 ha (8,22%), dan Mediteran Haplik seluas 18.061,19 ha (7,04%). Nilai faktor erodibilitas tanah (K) pada lokasi penelitian berkisar antara 0,13–0,29. Nilai K tertinggi terdapat pada Aluvial Gleik, Gleisol Distrik, dan Gleisol Eutrik (0,29), yang menunjukkan tingkat kerentanan tanah yang relatif lebih tinggi terhadap erosi, sedangkan nilai K terendah terdapat pada Litosol (0,13) dan Grumusol Pelik serta Mediteran Haplik (0,16). Dominasi kelompok Andosol dan Kambisol dengan nilai K masing-masing

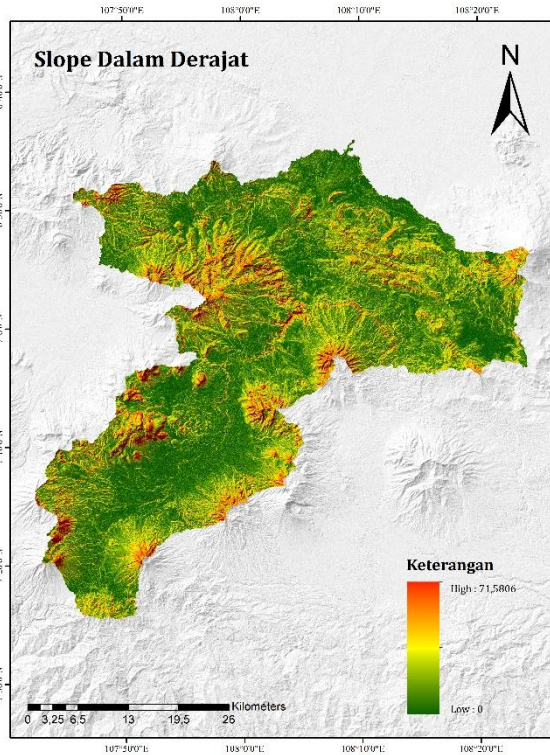
sebesar 0,28 dan 0,23 menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah penelitian memiliki tingkat erodibilitas tanah sedang, sehingga faktor pengelolaan lahan dan kondisi penutupan vegetasi menjadi aspek penting dalam pengendalian erosi di DTA Waduk Jatigede (Tabel 5).

Tabel 5. Faktor Erodibilitas

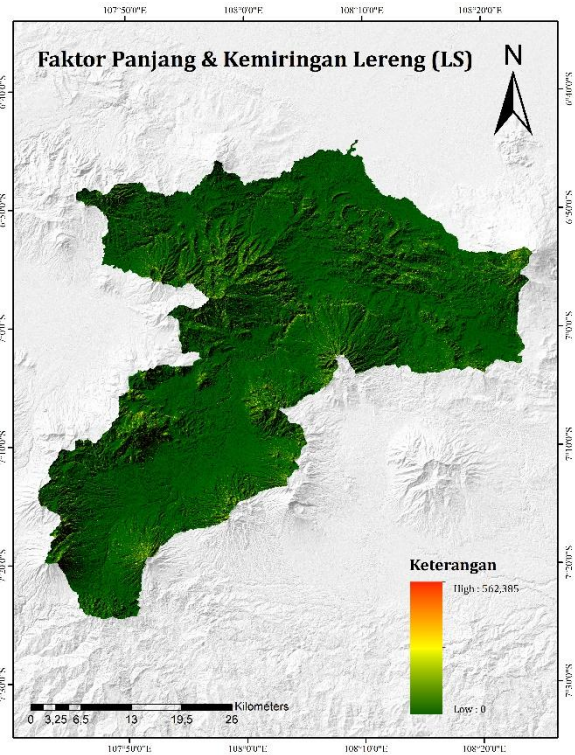
Jenis Tanah	Luas (ha)	Faktor (K)	Persentase %
Aluvial Gleik	3.051,92	0,29	1,19
Andosol Distrik	102.747,02	0,28	40,02
Andosol Eutrik	196,84	0,28	0,08
Andosol Litik	0,00	0,28	0,00
Gawir (Escarpments)	196,31	0,00	0,08
Gleisol Distrik	1.702,02	0,29	0,66
Gleisol Eutrik	17.871,87	0,29	6,96
Grumusol Pelik	183,92	0,16	0,07
Kambisol Distrik	56.646,38	0,23	22,06
Kambisol Eutrik	21.097,6	0,23	8,22
Kambisol Gleik	5.428,84	0,23	2,11
Kambisol Humik	9.045,29	0,23	3,52
Kambisol Litik	8.190,16	0,23	3,19
Kambisol Oksik	0,16	0,23	0,00
Latosol Haplik	0,15	0,26	0,00
Latosol Oksik	0,10	0,26	0,00
Litosol	89,47	0,13	0,03
Mediteran Haplik	18.061,19	0,16	7,04
Nitosol Distrik	1.769,37	0,25	0,69
Nitosol Eutrik	680,29	0,25	0,26
Podsolik Haplik	8.236,28	0,2	3,21
Tubuh Air	1.533,7	0,00	0,6
Jumlah Total	256.728,88		100

Sumber Pengolahan Data, 2025

3.4. Panjang dan Kemiringan Lereng



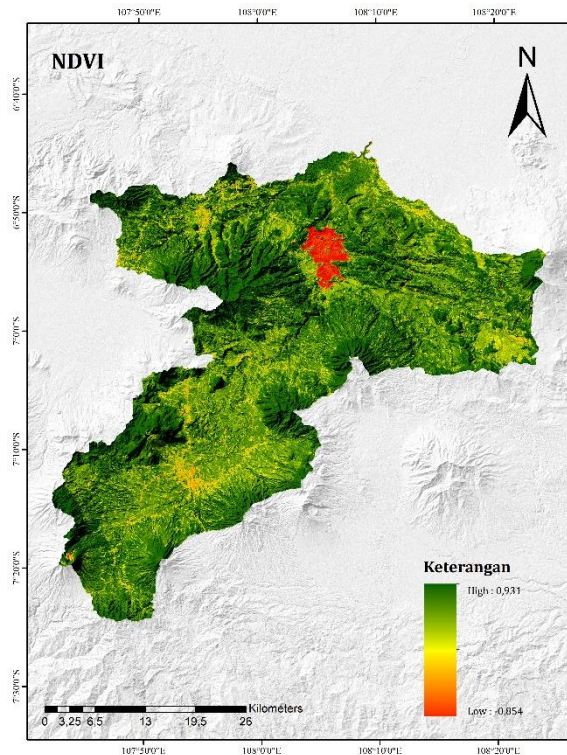
Gambar 6. Slope Dalam Derajat



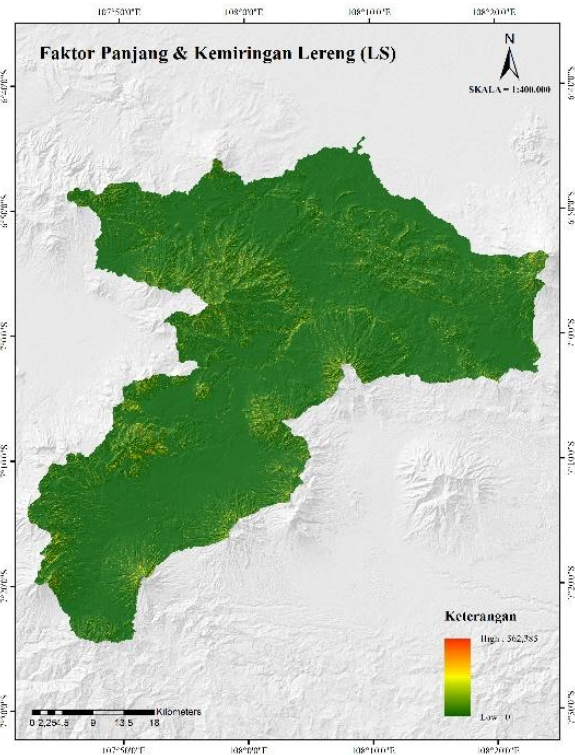
Gambar 7. Faktor LS

Analisis DEM Nasional pada DTA Waduk Jatigede memperlihatkan perbedaan kemiringan lereng yang kontras antara wilayah hulu, tengah, dan hilir. Kemiringan lereng pada wilayah penelitian berada pada rentang 0-71,5806° terlihat pada Gambar 6, yang menunjukkan variasi morfologi dari daerah datar hingga perbukitan sangat curam. Kawasan hulu dengan dominasi lereng curam menjadi area paling rentan terhadap erosi, sedangkan bagian hilir dan sekitar waduk yang didominasi lereng landai menunjukkan tingkat kerentanan yang lebih rendah. Variasi morfologi tersebut tercermin pada rentang nilai LS antara 0 hingga $\pm 562,385$ dapat dilihat pada Gambar 7.

3.5. Penutup Vegetasi



Gambar 8. NDVI



Gambar 9. Faktor C

Faktor C diturunkan dari *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) yang diperoleh dari data penginderaan jauh dengan rentang nilai NDVI pada wilayah penelitian sebesar -0,854701 hingga 0,931826, kemudian dioverlay dengan batas DTA Waduk Jatigede. Sebaran nilai NDVI tersebut disajikan pada Gambar 8 dan diklasifikasikan lebih lanjut pada Tabel 6. Pendekatan berbasis NDVI dipilih karena mampu menggambarkan variasi spasial dan kontinu kerapatan vegetasi secara lebih representatif dibandingkan klasifikasi tutupan lahan diskrit (Macedo *et al.*, 2021; Yan *et al.*, 2020).

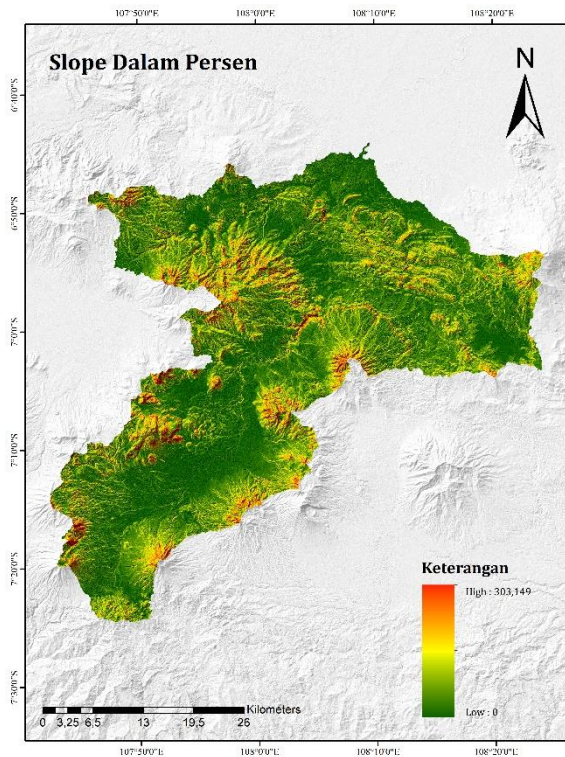
Tabel 6. Klasifikasi NDVI

Kelas	NDVI	Keterangan	Luas (ha)	Persentase (%)
I	-1 s/d -0,03	Lahan tidak bervegetasi	3772,94	1,47
II	-0,03 s/d 0,15	Kehijauan sangat rendah	2198,29	0,86
III	0,15 s/d 0,25	Kehijauan rendah	5101,42	1,98
IV	0,26 s/d 0,35	Kehijauan sedang	6308,48	2,45
V	0,36 s/d 1,00	Kehijauan tinggi	239728,72	93,24
Jumlah Total			257.109,85	100

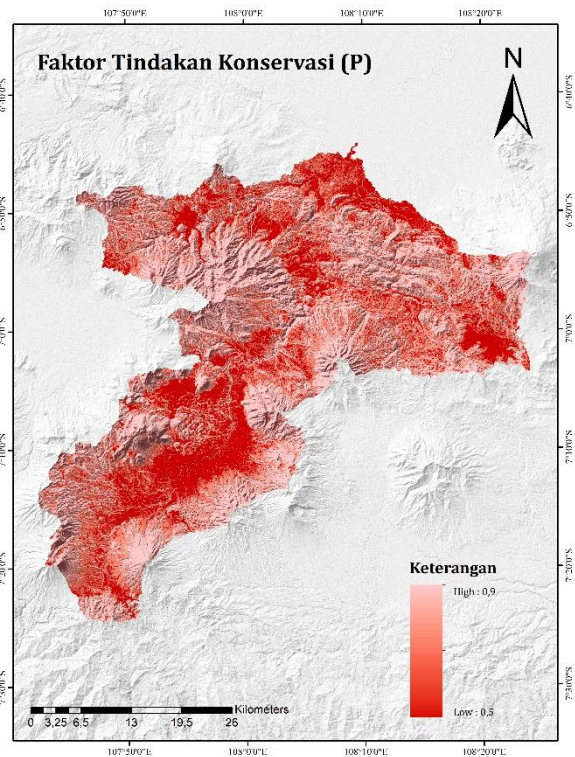
Sumber Pengolahan Data, 2025

Hasil klasifikasi NDVI pada periode 2020–2024 menunjukkan bahwa DTA Waduk Jatigede didominasi oleh kelas kehijauan tinggi (NDVI 0,36–1,00) dengan luas mencapai 239.728,72 ha atau 93,24% dari total area (Tabel 6). Sebaran kelas ini menunjukkan dominasi wilayah yang memiliki kerapatan vegetasi relatif tinggi, yang dapat mencakup berbagai bentuk tutupan vegetasi seperti hutan, perkebunan, agroforestri, dan vegetasi campuran lainnya. Oleh karena itu, kelas kehijauan tinggi tidak secara langsung dapat diinterpretasikan sebagai tutupan hutan tanpa verifikasi menggunakan data tutupan lahan. Distribusi spasial nilai NDVI tersebut ditunjukkan pada Gambar 9, yang memperlihatkan bahwa sebagian besar wilayah DTA memiliki tingkat kehijauan yang tinggi. Kondisi ini mengindikasikan keberadaan vegetasi yang relatif rapat sehingga berpotensi memberikan perlindungan terhadap permukaan tanah dan berkontribusi terhadap rendahnya nilai faktor penutup lahan (C) pada sebagian besar wilayah DTA Waduk Jatigede.

3.6. Tindakan Konservasi



Gambar 10. Slope Dalam Persen



Gambar 11. Faktor P

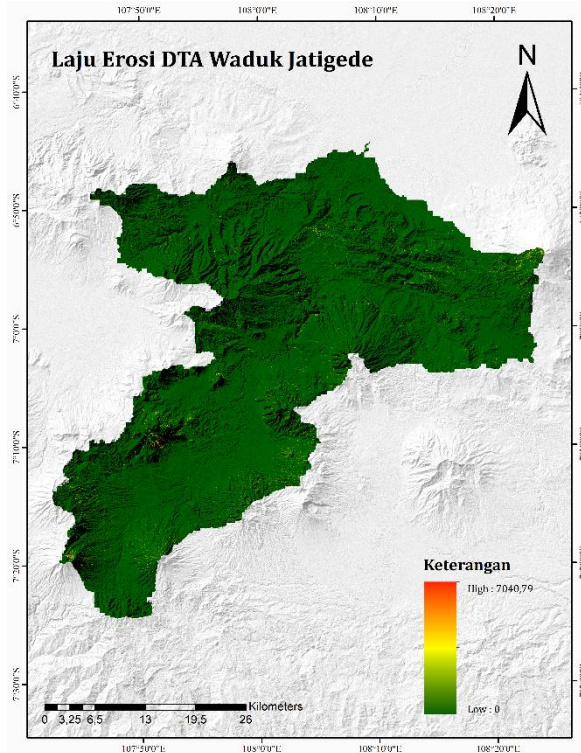
Berdasarkan hasil pemodelan pada Daerah Tangkapan Air Waduk Jatigede yang ditampilkan pada Gambar 10 dan Gambar 11, distribusi spasial faktor P menunjukkan variasi yang berkaitan erat dengan kelas kemiringan lereng. Peta faktor tindakan konservasi memperlihatkan dua kecenderungan utama, yaitu area dengan nilai P rendah yang relatif lebih terbatas serta area dengan nilai P tinggi yang mendominasi sebagian besar wilayah DTA. Kondisi ini mencerminkan perbedaan intensitas penerapan praktik konservasi tanah pada berbagai kelas lereng di wilayah penelitian.

Tabel 7. Tindakan Konservasi

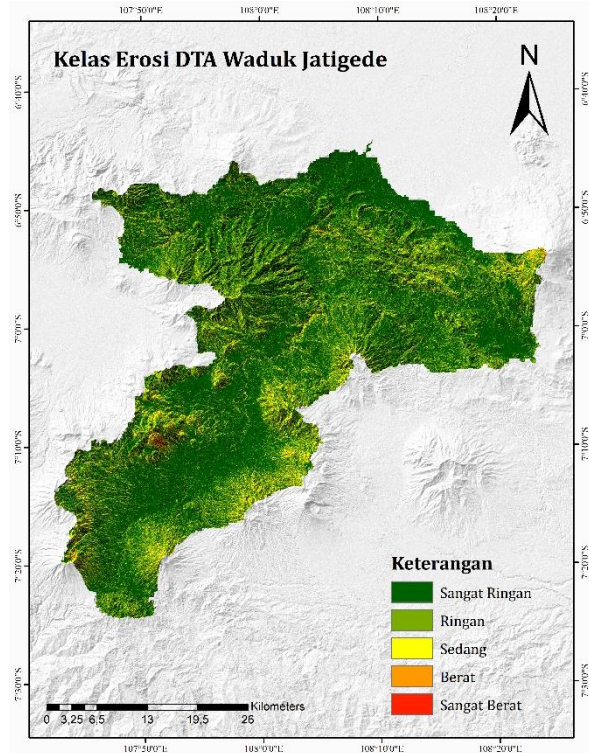
Kemiringan	Faktor P	Luas (ha)	Persentase (%)
0 - 8 %	0,50	57.793,12	22,49
9 - 20 %	0,75	83.997,29	32,69
>20 %	0,90	115.159,50	44,82
Jumlah Total		256.949,91	100

Sumber: Pengolahan Data, 2025

3.7. Laju Erosi Daerah Tangkapan Air Waduk Jatigede



Gambar 12. Sebaran Laju Erosi



Gambar 13. Klasifikasi Erosi

Hasil pemodelan RUSLE pada DTA Waduk Jatigede menunjukkan variasi spasial laju erosi yang cukup kontras, dengan nilai minimum 0 ton ha⁻¹ tahun⁻¹, rata-rata 16,703 ton ha⁻¹ tahun⁻¹, dan maksimum mencapai 7.040,793 ton ha⁻¹ tahun⁻¹. Nilai rata-rata tersebut mengindikasikan bahwa secara umum tingkat erosi di wilayah penelitian berada pada kategori rendah hingga ringan, meskipun terdapat beberapa lokasi dengan kehilangan tanah sangat tinggi. Distribusi spasial laju erosi yang ditampilkan pada Gambar 12 memperlihatkan dominasi warna hijau pada sebagian besar wilayah DTA, yang merepresentasikan nilai erosi rendah. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sebagian besar area masih memiliki tutupan lahan yang relatif baik serta topografi yang bervariasi sehingga mampu menekan potensi kehilangan tanah.

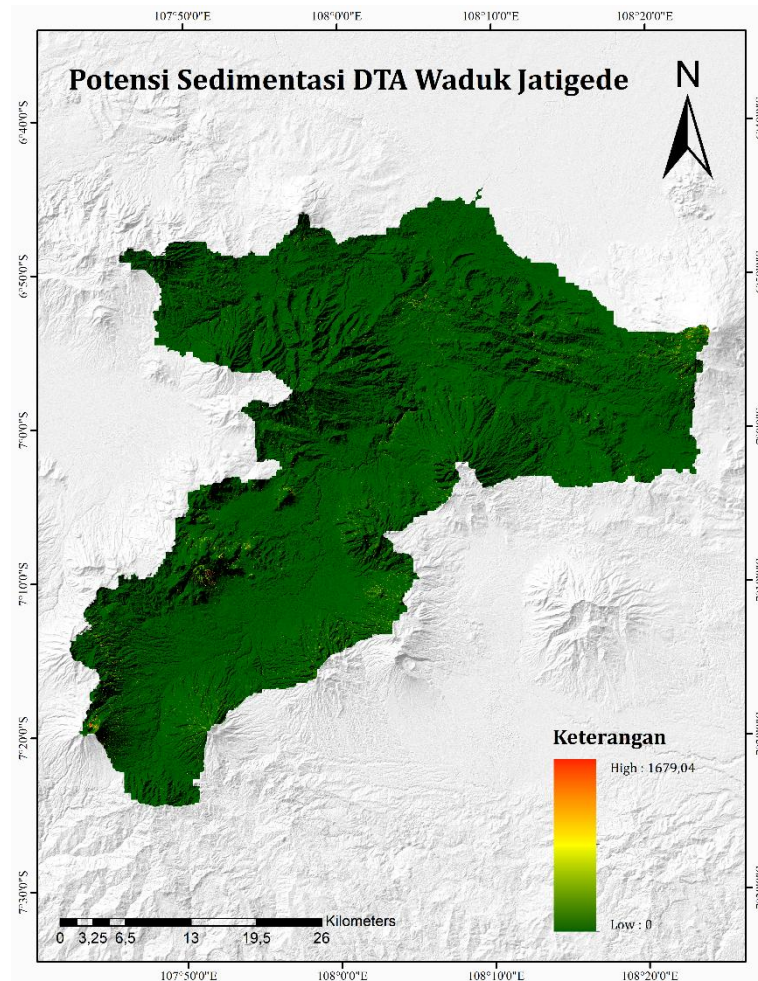
Tabel 8. Klasifikasi Erosi

Kelas	Laju Erosi (ton ha ⁻¹ tahun ⁻¹)	Keterangan	Luas (ha)	Persentase (%)
I	<15	Sangat Ringan	139.496,23	55,30
II	15-60	Ringan	84.531,07	33,51
III	60-180	Sedang	25.440,48	10,08
IV	180-480	Berat	2.565,53	1,02
V	>480	Sangat Berat	231,24	0,09
Jumlah Total			252.264,55	100

Sumber Pengolahan Data, 2025

Berdasarkan Tabel 8 dan Gambar 13, kelas erosi I (<15 ton ha⁻¹ tahun⁻¹) dan II (15–60 ton ha⁻¹ tahun⁻¹) mendominasi DTA Waduk Jatigede dengan luas 224.027,30 ha (88,81%). Kelas III (60–180 ton ha⁻¹ tahun⁻¹; sedang) meliputi 25.440,48 ha (10,08%). Adapun kelas IV (180–480 ton ha⁻¹ tahun⁻¹; berat) dan kelas V (>480 ton ha⁻¹ tahun⁻¹; sangat berat) relatif terbatas, masing-masing seluas 2.565,53 ha (1,02%) dan 231,24 ha (0,09%). Secara keseluruhan, hasil pemodelan, peta distribusi (Gambar 12-13), dan rekapitulasi Tabel 8 menunjukkan dominasi erosi sangat ringan-ringan dengan rata-rata 16,703 ton ha⁻¹ tahun⁻¹. Namun, area bererosi tinggi hingga sangat tinggi yang tersebar terbatas tetap perlu diprioritaskan dalam pengelolaan dan konservasi tanah karena berpotensi menjadi sumber utama sedimen yang mempercepat sedimentasi waduk.

3.8. Potensi Sedimentasi dan Umur Layanan Waduk



Gambar 14. Potensi Sedimentasi

Prakiraan sedimentasi DTA Waduk Jatigede dihitung melalui integrasi model RUSLE dan *Sediment Delivery Ratio* (SDR) berbasis spasial dengan nilai SDR 0,23 untuk mengestimasi sedimen yang mencapai outlet waduk. Hasil analisis menunjukkan variasi *sediment yield* dari 0 hingga 1.679,039 ton ha⁻¹ tahun⁻¹ dengan rerata 3,983 ton ha⁻¹ tahun⁻¹ (Gambar 4). Sedimentasi tertinggi terkonsentrasi pada area berlereng curam, tutupan lahan terbuka, dan curah hujan tinggi, yang merefleksikan peran dominan faktor LS, C, dan R dalam meningkatkan erosi dan transport sedimen.

Nilai SDR 0,23 menunjukkan sekitar 23% hasil erosi terangkut ke jaringan sungai, sedangkan sisanya terendapkan di lereng atau sepanjang aliran. Zona prioritas sedimentasi berada di bagian selatan dan barat daya DTA dengan konektivitas hidrologis tinggi, sejalan dengan temuan (Aldrees *et al.*, 2024; Dawoud *et al.*, 2023; Othman *et al.*, 2023; Starks *et al.*, 2023).

Berdasarkan rerata *sediment yield* 3,98 ton ha⁻¹ tahun⁻¹, volume sedimen yang masuk ke waduk diperkirakan sekitar 786 ribu m³ tahun⁻¹. Dengan kapasitas tampungan mati 103 juta m³ (BBWS Cimanuk Cisanggarung, 2024), umur layanan waduk akibat sedimentasi diperkirakan ±131 tahun sejak mulai operasi tahun 2015, sehingga tampungan mati berpotensi terisi sekitar tahun 2146.

Secara keseluruhan, *sediment yield* merupakan hasil interaksi erosi lahan dan nilai SDR, dengan implikasi penting terhadap keberlanjutan waduk. Oleh karena itu, pengelolaan lahan, konservasi tanah, dan peningkatan tutupan vegetasi menjadi strategi kunci untuk menekan laju sedimentasi (Nasjono *et al.*, 2022; Rosidin *et al.*, 2023).

3.9. Rekomendasi Praktis Mengurangi Angka Erosi dan Sedimentasi di DTA

Rekomendasi pengelolaan disusun berdasarkan hasil analisis spasial tingkat erosi dan potensi sedimentasi yang diperoleh dari pemodelan RUSLE dan *Sediment Delivery Ratio* (SDR). Penyusunan rekomendasi dilakukan secara spasial dengan mempertimbangkan distribusi kelas erosi, kondisi tutupan lahan, kemiringan lereng, serta potensi kontribusi sedimen pada masing-masing wilayah DTA Waduk Jatigede. Oleh karena itu, rekomendasi yang diberikan tidak hanya bersifat umum untuk keseluruhan DTA, tetapi juga diarahkan pada lokasi-lokasi prioritas yang memiliki tingkat erosi tinggi hingga sangat tinggi dan potensi sedimentasi besar. Pendekatan ini bertujuan agar tindakan konservasi yang diterapkan lebih efektif, tepat sasaran, dan sesuai dengan karakteristik biofisik wilayah.

3.9.1. Konservasi Vegetatif

Konservasi vegetatif merupakan pendekatan efektif dalam mengendalikan erosi dan sedimentasi DAS melalui pemanfaatan vegetasi sebagai penutup tanah yang mampu mereduksi energi hujan, meningkatkan infiltrasi, dan memperkuat struktur tanah melalui sistem perakaran (Li *et al.*, 2025). Kanopi, serasah, dan akar berperan menekan limpasan permukaan serta mencegah pelepasan partikel tanah.

Pada kawasan hutan produksi jati dan pinus, keberadaan vegetasi bawah (*understorey*) perlu dipertahankan karena berperan penting dalam menekan limpasan permukaan dan mengurangi erosi tanah (Rosmaeni *et al.*, 2022; Udayana *et al.*, 2020). Selain itu, hutan campuran dengan struktur vegetasi berlapis meningkatkan kapasitas infiltrasi dan stabilitas tanah melalui sistem akar yang kompleks (Kusumandari *et al.*, 2013).

Agroforestri mampu meningkatkan tutupan tajuk, memperbaiki struktur tanah, meningkatkan bahan organik tanah, serta mengurangi energi kinetik hujan yang mencapai permukaan tanah (Yuniti *et al.*, 2022). Selain itu, pada daerah sempadan sungai dan anak sungai yang bermuara ke Waduk Jatigede, penerapan *vegetative buffer strip* direkomendasikan untuk meningkatkan kemampuan penyaringan sedimen sebelum memasuki badan air (Ramsof *et al.*, 2025).

Serasah lantai hutan turut meningkatkan infiltrasi dan menurunkan limpasan (S. Chen *et al.*, 2024). Dalam model RUSLE, peningkatan tutupan vegetasi akan menurunkan nilai faktor C sehingga berdampak langsung terhadap penurunan laju erosi (Septiyanti *et al.*, 2023). Secara keseluruhan, peningkatan tutupan vegetasi efektif menekan produksi sedimen sehingga konservasi vegetatif menjadi strategi kunci dalam pengelolaan DAS menuju Waduk Jatigede (Gawas *et al.*, 2025; Nugroho *et al.*, 2022).

3.9.2. Konservasi Mekanik

Zona dengan potensi erosi sangat tinggi ($>480 \text{ ton ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$) memerlukan tindakan mekanik melalui pembangunan struktur pengendali sedimen. Check-dam terbukti efektif menahan sedimen sebelum mencapai aliran utama, khususnya pada DAS dengan lereng curam dan tanah rentan erosi (Aisyiyah *et al.*, 2025).

Analisis spasial pada DAS Mangkang menunjukkan bahwa penempatan bangunan pengendali sedimen yang tepat mampu menurunkan laju sedimen secara signifikan (Apritaputra *et al.*, 2025). Selain itu, terasering pada lahan miring efektif mengurangi kecepatan limpasan dan meningkatkan infiltrasi sehingga beban sedimen berkurang (Puspitasari *et al.*, 2024). Secara global, penerapan struktur mekanik pada lereng curam juga terbukti menekan limpasan dan sedimentasi, seperti pada studi di Loess Plateau yang menunjukkan penurunan sedimen lebih dari 50% setelah penerapan konservasi tanah dan air (Yang *et al.*, 2024).

4. KESIMPULAN

Hasil analisis spasial RUSLE menunjukkan laju erosi di DTA Waduk Jatigede bervariasi antara $0-7.040,793 \text{ ton ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ dengan rata-rata $16,703 \text{ ton ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$, yang tergolong sangat ringan-ringan. Sebagian besar wilayah didominasi kelas erosi sangat ringan dan ringan (88,81%), sedangkan erosi sedang hingga sangat berat terbatas pada area lereng curam dan tutupan vegetasi rendah. Pola ini menegaskan peran penting vegetasi dalam menekan

kehilangan tanah, meskipun zona bererosi tinggi tetap menjadi prioritas karena berpotensi sebagai sumber utama sedimen.

Integrasi RUSLE dan SDR (0,23) menghasilkan sediment yield rata-rata 3,983 ton ha⁻¹ tahun⁻¹ dengan nilai maksimum 1.679,039 ton ha⁻¹ tahun⁻¹. Estimasi volume sedimen yang masuk ke waduk mencapai ±786 ribu m³ tahun⁻¹. Dengan kapasitas tampungan mati 103 juta m³, umur layanan waduk akibat sedimentasi diperkirakan ±131 tahun hingga terisi penuh.

Secara keseluruhan, meskipun tingkat erosi relatif rendah, pengelolaan lahan dan konservasi tanah perlu dilakukan secara berkelanjutan, khususnya pada area bererosi tinggi, guna menekan akumulasi sedimen dan menjaga keberlanjutan fungsi Waduk Jatigede.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyiyah, G. N., Andawayanti, U., & Suhartanto, E. (2025). Pendugaan Laju Erosi dan Sedimen serta Perencanaan Bangunan Pengendali Sedimen di DAS Guritwesi Kabupaten Pasuruan. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2025.005.02.085>
- Aldrees, A., El-patch, S. J., Dan'azumi, S., & Abba, S. I. (2024). Spatio-temporal soil loss modelling using RUSLE and sediment delivery into a reservoir in a semi-arid region of northern Nigeria. *Heliyon*, 10(20), e38887. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38887>
- Apritaputra, R. W., Ussy Andawayanti, & Rahmah Dara Lufira. (2025). Strategi Pengendalian Sedimen yang Efektif di Daerah Aliran Sungai Mangakang, Kota Semarang. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 5(2), 1288–1295. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2025.005.02.122>
- Bappenas. (2012). *Analisa Perubahan Penggunaan Lahan Di Ekosistem Das Dalam Menunjang Ketahanan Air Dan Ketahanan Pangan*.
- Barchia, M. F., Sulisty, B., Putri, E. L., & Herman, W. (2023). Spatial Prediction of Soil Erodibility Indices of the Sensitive Landscape of Bengkulu Watershed, Indonesia. *International Journal of Environmental Science and Development*, 14(3), 190–194. <https://www.ijesd.org/show-186-1990-1.html>
- Cahyono, B. K., Hakim, L., Waljiyanto, & Adhi, A. D. (2017). *Perhitungan kecepatan sedimentasi melalui pendekatan usle dan pengukuran kandungan tanah dalam air sungai yang masuk ke dalam waduk sermo*. 1(1), 8–23.
- Chen, Y., Xu, M., Wang, Z., Chen, W., & Lai, C. (2020). Reexamination of the Xie model and spatiotemporal variability in rainfall erosivity in mainland China from 1960 to 2018. *CATENA*, 195, 104837. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104837>
- Dawoud, O., Eljamassi, A., & Abunada, Z. (2023). Mapping and Quantification of Soil Erosion and Sediment Delivery in Poorly Developed Urban Areas: A Case Study. *Sustainability*, 15(18), 13683. <https://doi.org/10.3390/su151813683>
- Dewan Sumber Daya Air Nasional. (2021). *Pengendalian Erosi dan Sedimentasi untuk*

Pelestarian Fungsi Waduk.

- Durigon, V. L., Carvalho, D. F., Antunes, M. A. H., Oliveira, P. T. S., & Fernandes, M. M. (2014). NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. *International Journal of Remote Sensing*, 35(2), 441–453. <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.871081>
- ESRI. (2021). *ArcGIS Desktop: Release 10.8*. Environmental Systems Research Institute. <https://www.esri.com>
- Gawas, R., Kerkar, P., & Sawant, S. (2025). Spatial analysis of soil erosion vulnerability in the Mandovi River watershed, India, using RUSLE and geospatial techniques. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 12(5), 8535–8545. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2025.125.8535>
- Gonzalez Rodriguez, L., McCallum, A., Kent, D., Rathnayaka, C., & Fairweather, H. (2023). A review of sedimentation rates in freshwater reservoirs: recent changes and causative factors. *Aquatic Sciences*, 85(2), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s00027-023-00960-0>
- Jenson, S. K., & Domingue, J. O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11), 1593–1600.
- Kementrian PUPR. (2019). *Direktorat Jenderal Sumber Daya Air*.
- Krepeski, T., Ślugoński, Ł., Goździk, I., Humiczewski, M., Popko, R., & Czerniawski, R. (2024). Spatial Distribution Patterns of Zooplankton and Macroinvertebrates in a Small River under Strong Anthropogenic Pressure. *Water (Switzerland)*, 16(2). <https://doi.org/10.3390/w16020262>
- Kusumandari, A., Widiyatno, Marsono, D., Sabarnurdin, S., Gunawan, T., & Nugroho, P. (2013). Vegetation Clustering in Relation to Erosion Control of Ngrancah Sub Watershed, Java, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 17, 205–210. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.02.030>
- Li, Y., Hu, Y., Zhao, J., & Zhang, J. (2025). Water erosion control through vegetation restoration: Mechanisms and contributions of vegetation components in Robinia Pseudoacacia forests. *CATENA*, 255, 109066. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.109066>
- Liu, Y., Zhao, W., Liu, Y., & Pereira, P. (2020). Global rainfall erosivity changes between 1980 and 2017 based on an erosivity model using daily precipitation data. *CATENA*, 194, 104768. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104768>
- Macedo, P. M. S., Oliveira, P. T. S., Antunes, M. A. H., Durigon, V. L., Fidalgo, E. C. C., & de Carvalho, D. F. (2021). New approach for obtaining the C-factor of RUSLE considering the seasonal effect of rainfalls on vegetation cover. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(2), 207–216. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.12.001>
- Mohammed, N. A., & Asmamaw, D. K. (2021). *Remote Sensing and GIS-Based Soil Loss Estimation Using RUSLE in Bahir Dar Zuria District , Ethiopia*.
- Nasjono, J., Hangge, E., & Kelen, M. (2022). Metode Erosivitas Hujan dan Model Sediment

- Delivery Ratio untuk Prakiraan Erosi dan Sedimentasi pada Bendungan Tilong. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 13(1). <https://jtsda.hathi.id/index.php/jtsda/article/view/15>
- Nugroho, H. Y. S. H., Basuki, T. M., Pramono, I. B., Savitri, E., Purwanto, Indrawati, D. R., Wahyuningrum, N., Adi, R. N., Indrajaya, Y., Supangat, A. B., Putra, P. B., Auliyani, D., Priyanto, E., Yuwati, T. W., Pratiwi, Narendra, B. H., Sukmana, A., Handayani, W., Setiawan, O., & Nandini, R. (2022). Forty Years of Soil and Water Conservation Policy, Implementation, Research and Development in Indonesia: A Review. *Sustainability*, 14(5), 2972. <https://doi.org/10.3390/su14052972>
- Obialor, C. A., Okeke, O. C., Onunkwo, A. A., Fagorite, V. I., & Ehujuo. (2019). Reservoir Sedimentation: Causes, Effects and Mitigation. *International Journal of Advanced Academic Research | Sciences*, 5(10), 2488–9849.
- Othman, A. A., Ali, S. S., Salar, S. G., Obaid, A. K., Al-Kakey, O., & Liesenberg, V. (2023). Insights for Estimating and Predicting Reservoir Sedimentation Using the RUSLE-SDR Approach: A Case of Darbandikhan Lake Basin, Iraq–Iran. *Remote Sensing*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/rs15030697>
- Pradana Putra, D., Riman, & Halim, A. (2024). Studi Analisis Pengaruh Sedimentasi Terhadap Kapasitas Tampungan Efektif Waduk Jambu. *BOUWPLANK Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 4(1), 16–23. <https://doi.org/10.31328/bouwplank.v4i1.481>
- Puspitasari, R. A., Suhartanto, E., & Prasetyorini, L. (2024). Analisa Laju Erosi dan Arah Konservasi Lahan pada DAS Kedunglarangan Kabupaten Pasuruan. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2024.004.01.008>
- Ramsos, R. A., Zakaria, Z., Irvan Sophian, & Arie Afriadi. (2025). Potential Hazards of Erosion and Conservation Strategis in the Sail Sub-Watershed, Pekanbaru City, Riau Province, Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 10(1), 15–22. <https://doi.org/10.25299/jgeet.2025.10.1.20795>
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*.
- Rochmah, B. D. A., Markum, & Setiawan, B. (2023). *Penggunaan Metode Interpolasi Data Curah Hujan Untuk Pemetaan Potensi Daerah Rawan Banjir Di Kota Mataram*.
- Rosidin, D. A., Suhartanto, E., & Andawayanti, U. (2023). Pemetaan Sebaran Indeks Bahaya Erosi dan Arah Penggunaan Lahan di Sub DAS Brantas Hulu Kota Batu Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(1), 198–212. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2023.003.01.18>
- Rosmaeni, R., Malamassam, D., Zubair, H., & Mursyid, M. (2022). Soil Erosion Over Different Slopes Under Pine Stands. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 9(2), 265–276. <https://doi.org/10.59465/ijfr.2022.9.2.265-276>
- Septiyanti, B. E., Ngadisih, N., Setyawan, C., & Susanto, S. (2023). Application of Wischmeier-Smith, EPIC, M-USLE, and WEPP Methods for Determination of Erodibility Factor (K) of Soil. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. <https://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JTP/article/view/6314>

- Starks, P. J., Moriasi, D. N., & Fortuna, A.-M. (2023). GIS-Based RUSLE Reservoir Sedimentation Estimates: Temporally Variable C-Factors, Sediment Delivery Ratio, and Adjustment for Stream Channel and Bank Sediment Sources. *Land*, 12(10), 1913. <https://doi.org/10.3390/land12101913>
- Suryanto, J., Krisbiyantoro, J., Studi, P., Pertanian, T., Tinggi, S., Kutai, P., Hatta, J. S., Lingga, T., Utara, K. S., & Timur, K. K. (2025). *KABUPATEN KUTAI TIMUR MENGGUNAKAN MODEL USLE DAN APLIKASI SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS Erosi adalah proses hilangnya partikel tanah pada permukaan tanah pada hubungan statistik yang signifikan Model empiris Universal Soil Loss Equation (USLE) merupakan mo.* 24(1), 87–102.
- Tatipata, W. H., Soekarno, I., Sabar, A., & Legowo, S. (2015). Analisis Volume Sedimen yang Mengendap Setelah T-Tahun Waduk Beroperasi (Studi Kasus: Waduk Cirata). *Jurnal Teknik Sipil*, 22(3), 235–242.
- Udayana, C., Andreassen, H. P., & Skarpe, C. (2020). Understory diversity and composition after planting of teak and mahogany in Yogyakarta, Indonesia. *Journal of Sustainable Forestry*, 39(5), 494–510. <https://doi.org/10.1080/10549811.2019.1686029>
- Ward, A. D., Trimble, S. W., & Burckhard, S. R. (2011). *Environmental Hydrology* (2nd ed.). CRC Press.
- Williams, J. R., & Berndt, H. D. (1972). Sediment Yield Computed with Universal Equation. *Journal of the Hydraulics Division*, 98(12), 2087–2098.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*.
- Wulandari, A., & Cahyono, B. K. (2020). Estimasi Volume Sedimentasi Waduk Sermo Menggunakan Metode RUSLE, Batimetri dan Angkutan Sedimen. *Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 3(1), 39–48. <https://doi.org/https://doi.org/10.22146/jgise.53719>
- Yan, H., Wang, L., Wang, T. W., Wang, Z., & Shi, Z. H. (2020). A synthesized approach for estimating the C-factor of RUSLE for a mixed-landscape watershed: A case study in the Gongshui watershed, southern China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 301, 107009. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107009>
- Yang, H., Wang, T., Yang, D., Yan, Z., Wu, J., & Lei, H. (2024). Runoff and sediment effect of the soil-water conservation measures in a typical river basin of the Loess Plateau. *CATENA*, 243, 108218. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108218>
- Yuniti, I. G. D. A., Purba, J. H., Sasmita, N., Komara, L. L., Olviana, T., & Kartika, I. M. (2022). Balinese Traditional Agroforestry as Base of Watershed Conservation. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, 6(1), 49–60. <https://doi.org/10.55043/jaast.v6i1.54>