



## Analisis Spasial Tingkat Bahaya Erosi (TBE) Pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Tikala Menggunakan Metode USLE Dan Sistem Informasi Geografis

Ronaldo T. Palar<sup>#a</sup>, Kelvin H. Auwyanto<sup>#b</sup>

<sup>#</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi Manado Indonesia

<sup>a</sup>r.palar@unsrat.ac.id, <sup>b</sup>auwyantokelvin22@unsrat.ac.id

### Abstrak

Daerah Aliran Sungai (DAS) Tikala merupakan salah satu sub-sistem hidrologi penting di Sulawesi Utara yang berperan sebagai daerah tangkapan air bagi Kota Manado. Perubahan tata guna lahan serta kondisi topografi yang bervariasi berpotensi meningkatkan laju erosi tanah dan sedimentasi sungai. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sebaran spasial dan luasan Tingkat Bahaya Erosi (TBE) di DAS Tikala menggunakan pendekatan *Universal Soil Loss Equation* (USLE) berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Keunggulan penelitian ini terletak pada pemanfaatan platform berbasis *cloud computing*, yaitu *Google Earth Engine* (GEE), untuk mengekstraksi parameter erosi yang meliputi faktor erosivitas hujan (R) periode 2018–2023, erodibilitas tanah (K), faktor panjang dan kemiringan lereng (LS), serta faktor tutupan lahan (C). Data batas DAS Tikala diperoleh dari Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDAS) Tondano yang merupakan pengembangan dari penelitian penulis sebelumnya. Seluruh parameter USLE diolah secara spasial menggunakan perangkat lunak QGIS untuk menghasilkan peta laju erosi dan klasifikasi TBE. Hasil analisis menunjukkan bahwa DAS Tikala memiliki luas total 8.425 ha dan didominasi oleh kelas TBE Sangat Ringan seluas 7.968,75 ha (94,5%). Namun demikian, terdapat area kritis dengan kategori Berat dan Sangat Berat seluas sekitar 50 ha (0,6%) yang memerlukan prioritas penanganan konservasi lahan.

*Kata kunci:* DAS Tikala, Google Earth Engine, QGIS, Tingkat Bahaya Erosi, USLE

### 1. Pendahuluan

Erosi tanah merupakan proses pelepasan dan pengangkutan partikel tanah dari permukaan lahan akibat energi kinetik air hujan dan aliran permukaan. Di wilayah tropis dengan intensitas hujan tinggi, seperti Sulawesi Utara, erosi menjadi permasalahan serius terutama pada daerah dengan kelerengan curam dan tutupan lahan yang tidak memadai. DAS Tikala memiliki peran strategis sebagai daerah tangkapan air yang bermuara di Kota Manado. Peningkatan laju erosi di bagian hulu DAS berpotensi mempercepat sedimentasi sungai, yang pada akhirnya dapat meningkatkan risiko banjir di wilayah hilir.

Pendekatan pemodelan erosi menggunakan *Universal Soil Loss Equation* (USLE) yang dikombinasikan dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) telah banyak digunakan untuk memetakan potensi erosi dan mengidentifikasi wilayah prioritas konservasi lahan secara spasial. Perkembangan teknologi penginderaan jauh dan *cloud computing* memungkinkan proses ekstraksi data spasial dilakukan secara efisien dan konsisten dalam cakupan wilayah yang luas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis Tingkat Bahaya Erosi (TBE) di DAS Tikala dengan memanfaatkan data penginderaan jauh berbasis *Google Earth Engine* dan analisis spasial menggunakan QGIS.

Kompleksitas permasalahan erosi di era modern menuntut pendekatan analisis yang tidak hanya akurat tetapi juga efisien dari segi waktu dan biaya. Tren penelitian global saat ini menunjukkan bahwa integrasi antara model *Universal Soil Loss Equation* (USLE) dengan teknologi geospasial mampu memberikan gambaran risiko erosi yang detail, terutama dalam mendeteksi dampak perubahan tutupan lahan (*Land Use/Land Cover Change*). Hal ini sejalan dengan penelitian terbaru yang dilakukan di Cekungan Sungai Hulan, Tiongkok, di mana integrasi

GIS dan USLE terbukti efektif dalam memetakan risiko erosi akibat konversi lahan vegetasi menjadi area pertanian intensif dan permukiman (Li et al., 2024). Studi tersebut menegaskan bahwa pemantauan berbasis satelit adalah metode paling efisien untuk area tangkapan air yang luas.

Di tingkat nasional, urgensi pemetaan erosi skala mikro juga semakin ditekankan untuk mendukung kebijakan tata ruang. Penelitian terbaru pada Sub-DAS Sungai Lempong di tahun 2025 menunjukkan bahwa identifikasi tingkat bahaya erosi secara spesifik hingga level satuan lahan terkecil sangat krusial untuk menentukan prioritas konservasi lahan kritis (Prasetyo et al., 2025). Berkaca dari studi-studi mutakhir tersebut, penerapan metode serupa pada DAS Tikala menjadi sangat relevan dan mendesak, mengingat DAS ini mengalami tekanan urbanisasi yang tinggi namun belum memiliki pemetaan risiko erosi yang diperbarui dengan data *time-series* resolusi tinggi.

## 2. Metodologi Penelitian

### 2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Tikala, Provinsi Sulawesi Utara. Secara administratif, DAS ini melintasi wilayah Kota Manado dan sekitarnya. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan pendekatan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis.

### 2.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer hasil ekstraksi penginderaan jauh (*Google Earth Engine GEE*) dan data sekunder dari instansi terkait, sebagai berikut:

#### 1. Batas DAS Tikala

Peta batas DAS Tikala diperoleh dari Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDAS) Tondano. Data tersebut merupakan hasil pengembangan dan penyempurnaan dari delineasi batas DAS yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya di wilayah DAS Tikala (Palar, 2013).

#### 2. Faktor Erosivitas Hujan (R)

Faktor erosivitas hujan (R) dihitung menggunakan pendekatan empiris metode Bols, yang menghubungkan besarnya curah hujan dengan potensi energi hujan dalam memicu erosi. Data curah hujan rata-rata tahunan periode 2018–2023 diperoleh dari dataset curah hujan satelit (CHIRPS) yang diekstraksi melalui *platform Google Earth Engine (GEE)*. Nilai R dihitung secara spasial dan digunakan sebagai representasi erosivitas hujan pada wilayah DAS Tikala.

#### 3. Faktor Erodibilitas Tanah (K)

Faktor K diperoleh dari data jenis tanah global (*SoilGrids/OpenLandMap*) yang tersedia di *platform GEE*. Data ini digunakan sebagai pendekatan spasial erodibilitas tanah pada skala DAS

#### 4. Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng (LS)

Faktor LS dihitung dari data *Digital Elevation Model (DEM)* SRTM/ALOS PALSAR yang tersedia pada repositori GEE. Pengolahan dilakukan untuk memperoleh parameter panjang lereng dan kemiringan lereng secara raster.

#### 5. Faktor Tutupan Lahan (C)

Faktor C diturunkan dari citra satelit Landsat 8/Sentinel-2 tahun 2023 dengan menggunakan pendekatan indeks vegetasi (NDVI). Nilai NDVI selanjutnya dikonversi menjadi nilai C berdasarkan hubungan empiris antara kerapatan vegetasi dan kemampuan lahan dalam menahan erosi.

#### 6. Faktor Tindakan Konservasi (P)

Faktor P diasumsikan bernilai 1, dengan pertimbangan keterbatasan data spasial mengenai penerapan tindakan konservasi tanah eksisting di wilayah DAS Tikala.

### 2.3 Analisis Data

Analisis laju erosi dilakukan menggunakan persamaan *Universal Soil Loss Equation* (USLE) sebagai berikut:

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

Di mana A adalah laju erosi (ton/ha/tahun), R adalah faktor erosivitas hujan, K adalah faktor erodibilitas tanah, LS adalah faktor panjang dan kemiringan lereng, C adalah faktor tutupan lahan, dan P adalah faktor tindakan konservasi.

Seluruh parameter USLE dioverlay secara spasial menggunakan *Raster Calculator* pada perangkat lunak QGIS. Nilai laju erosi yang dihasilkan kemudian diklasifikasikan ke dalam lima kelas Tingkat Bahaya Erosi (TBE) berdasarkan Surat Keputusan Direktorat Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan No. 041/Kpts/V/1998. Berisi tentang metode yang digunakan dalam penyelesaian penelitian didalam naskah artikel. Segala metode yang digunakan dalam penelitian dituliskan pada bagian ini. Metode harus membuat pembaca dapat membaca analisis. Metode yang telah dipublikasikan harus ditunjukkan dengan referensi, jika melakukan modifikasi metode yang relevan yang harus dijelaskan.

## 3. Hasil dan Pembahasan

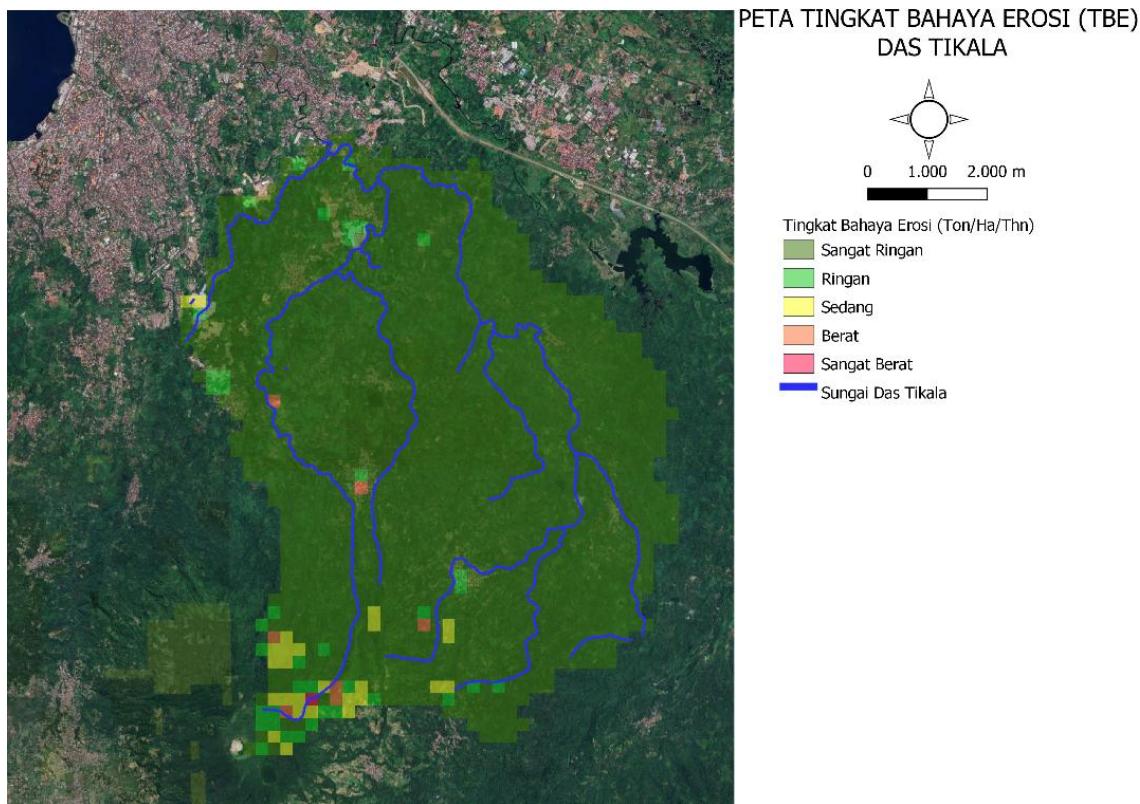
### 3.1 Sebaran Spasial Laju Erosi

Hasil analisis spasial menunjukkan bahwa laju erosi di DAS Tikala bervariasi secara spasial. Pola sebaran erosi di DAS Tikala menunjukkan karakteristik yang unik dan dipengaruhi oleh dominasi faktor yang berbeda-beda di setiap wilayah. Tingkat erosi tinggi (kelas Berat hingga Sangat Berat) yang ditandai dengan piksel berwarna merah hingga kuning kemerahan, teridentifikasi pada tiga tipologi wilayah:

1. Wilayah Topografi Terjal: Pada kawasan hulu seperti sekitar Gunung Mahawu, erosi tergolong tinggi meskipun tutupan lahannya berupa hutan. Hal ini mengindikasikan bahwa faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) menjadi pengontrol dominan dibandingkan faktor tutupan lahan.
2. Wilayah Pengembangan Permukiman di Lereng Landai: Pada area seperti Desa Kamangta, terdeteksi tingkat erosi yang cukup tinggi meskipun berada pada kelerengan yang relatif landai. Kondisi ini dipicu oleh faktor tutupan lahan (C) akibat aktivitas pembangunan perumahan dan permukiman yang meningkatkan koefisien aliran permukaan.
3. Wilayah Permukiman di Lereng Curam: Kondisi paling kritis ditemukan pada kawasan seperti Desa Rumengkor, Sawangan, dan Desa Koka. Pada wilayah ini terjadi kombinasi faktor pemicu erosi yang ekstrem, yaitu alih fungsi lahan menjadi permukiman (perumahan baru) yang berada di atas topografi dengan kemiringan lereng curam, sehingga menghasilkan laju erosi yang sangat signifikan.

### 3.2 Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi (TBE)

Berdasarkan hasil klasifikasi, DAS Tikala didominasi oleh kelas Tingkat Bahaya Erosi Sangat Ringan dengan luas 7.968,75 ha (94,5%). Kelas Berat dan Sangat Berat memiliki luas total sekitar 50 ha atau 0,6% dari total luas DAS, sedangkan rincian luas untuk setiap kelas erosi dapat dilihat pada Tabel 1.



**Gambar 1.** Peta Tingkat Bahaya Erosi (TBE) (Hasil Analisis)

**Tabel 1.** Luas Wilayah Berdasarkan Tingkat Bahaya Erosi (TBE) DAS Tikala (Hasil analisis)

No.	Kelas TBE	Kriteria Erosi (ton/ha/thn)	Luas (Hektar)	Persentase (%)
1	Sangat Ringan	< 15	7.968,75	94,5%
2	Ringan	15 - 60	243,75	2,9%
3	Sedang	60 - 180	162,50	1,9%
4	Berat	180 - 480	43,75	0,5%
5	Sangat Berat	> 480	6,25	0,1%
	<b>TOTAL</b>		<b>8.425,00</b>	<b>100%</b>

### 3.3 Pembahasan

Kondisi DAS Tikala secara umum masih tergolong baik, ditandai dengan dominasi kelas TBE Sangat Ringan seluas 7.968,75 Ha atau mencapai 94,5% dari total wilayah. Hal ini mengindikasikan bahwa kombinasi faktor penggunaan lahan dan jenis tanah di sebagian besar wilayah DAS masih mampu menahan laju erosi di bawah ambang batas toleransi.

Meskipun demikian, perhatian khusus harus diberikan pada wilayah dengan klasifikasi Berat dan Sangat Berat yang mencakup area seluas 50 Hektar (0,6% dari total wilayah). Berdasarkan verifikasi visual, area kritis ini tidak hanya berpusat di hulu sungai yang curam, tetapi juga menyebar ke area transisi akibat desakan *urban sprawl* (perembetan kawasan perkotaan ke wilayah pinggiran). Fenomena ini terlihat jelas di Desa Rumengkor dan Sawangan, di mana terjadi pembukaan lahan masif untuk perumahan baru di area berkontur curam tanpa disertai tindakan konservasi sipil teknis yang memadai (seperti dinding penahan tanah atau terasering).

Alih fungsi lahan akibat *urban sprawl* ini meningkatkan koefisien aliran permukaan (*run-off*) dan menghilangkan tutupan vegetasi pelindung tanah. Sementara itu, tingginya erosi di area landai seperti Kamangta juga mengonfirmasi dampak ekspansi permukiman ini; perubahan dari

vegetasi rapat menjadi area terbangun (*impermeabel*) memicu peningkatan laju erosi meskipun faktor topografinya tidak ekstrem. Area-area inilah yang menjadi prioritas utama untuk rekomendasi tindakan konservasi guna mencegah pendangkalan sungai di hilir. (Liany Amelia Hendratta, 2024).

**Tabel 2.** Karakteristik Wilayah dengan Tingkat Bahaya Erosi (TBE) Sedang hingga Sangat Berat di DAS Tikala (Hasil analisis)

No.	Lokasi	Karakteristik Lereng	Tutupan/Penggunaan Lahan	Faktor Dominan
1	Desa Kamangta	Relatif landai	Permukiman/perumahan baru	Faktor C
2	Gunung Mahawu	Curam	Hutan	Faktor LS
3	Rurukan/Rumengkor	Sedang–curam	Permukiman dan perumahan baru	LS dan C
4	Sawangan	Sedang–curam	Kampung dan perumahan berkembang	LS dan C
5	Koka	Sedang	Perumahan baru dan lahan terbuka	Faktor C

#### 4. Kesimpulan

##### 4.1 Kesimpulan

1. Pendekatan *Universal Soil Loss Equation* (USLE) berbasis Sistem Informasi Geografis terbukti efektif untuk memetakan sebaran spasial Tingkat Bahaya Erosi (TBE) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Tikala.
2. DAS Tikala memiliki luas total 8.425 ha dan didominasi oleh kelas TBE Sangat Ringan dengan luas 7.968,75 ha atau sekitar 94,5% dari total wilayah, yang menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah DAS masih memiliki kemampuan menahan erosi yang relatif baik.
3. Hasil analisis spasial menunjukkan adanya keterkaitan yang jelas antara tingkat bahaya erosi yang tinggi dengan penggunaan lahan terbuka. Zona dengan kategori TBE Sedang hingga Sangat Berat terkonsentrasi pada area dengan kombinasi kondisi topografi dan penggunaan lahan, baik pada wilayah dengan kemiringan lereng sedang hingga curam maupun pada area yang relatif landai namun telah mengalami konversi lahan secara intensif, khususnya menjadi permukiman dan pengembangan perumahan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pembukaan lahan pada area berlereng menjadi salah satu faktor dominan yang memicu peningkatan laju erosi di DAS Tikala.
4. Informasi spasial Tingkat Bahaya Erosi yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai dasar awal dalam perencanaan pengelolaan DAS secara terpadu, khususnya dalam upaya mitigasi risiko degradasi lahan dan kejadian hidrometeorologi ekstrem.

##### 4.2 Saran

1. Untuk meningkatkan akurasi estimasi laju erosi, penelitian selanjutnya disarankan mengombinasikan data curah hujan berbasis satelit (misalnya *CHIRPS* atau *GPM*) dengan data curah hujan terukur dari stasiun hujan darat yang dikelola oleh BMKG maupun Balai Wilayah Sungai (BWS) Sulawesi I, melalui analisis korelasi dan proses kalibrasi spasial.
2. Penelitian lanjutan disarankan mengembangkan hubungan antara hasil analisis erosi dengan respon hidrologi DAS, seperti debit puncak dan volume limpasan, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam memprediksi potensi kejadian banjir dan banjir bandang.
3. Integrasi peta Tingkat Bahaya Erosi dengan data hidrologi dan hidraulika, serta pemodelan lanjutan (misalnya menggunakan *HEC-HMS* atau *HEC-RAS*), berpotensi mendukung upaya mitigasi dan pencegahan kejadian banjir ekstrem, khususnya di wilayah hilir Kota Manado.
4. Selain itu, penggunaan metode pengembangan *USLE*, seperti *RUSLE* atau *MUSLE*, serta integrasi dengan data debit sungai, dapat dipertimbangkan untuk memperoleh gambaran erosi dan sedimentasi yang lebih komprehensif dalam skala DAS.

## Referensi

- Arsyad, S. (2010). Konservasi Tanah dan Air. Bogor: IPB Press.
- Asdak, C. (2010). Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Direktorat Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan. (1998). SK Dirjen RRL No. 041/Kpts/V/1998 tentang Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Daerah Aliran Sungai. Jakarta: Departemen Kehutanan.
- Hardjowigeno, S. (2007). Ilmu Tanah. Jakarta: Akademika Pressindo.
- Li, H., Wang, J., & Zhang, Y. (2024). Integrated Use of GIS and USLE Models for LULC Change Analysis and Soil Erosion Risk Assessment in the Hulan River Basin, Northeastern China. *Sustainability*, 16(3), 1234.
- Liany Amelia Hendratta, S. C. (2024). Sedimentation Analysis Study in Lake Tondano Due to the Development of the Surrounding Area. *Open Civil Engineering Journal*, 1-14.
- Palar, R. T. (2013). Studi perbandingan antara hidrograf SCS (soil conservation service) dan metode rasional pada DAS Tikala. *Jurnal Sipil Statik*, 171-176
- Prasetyo, Y. B., Wibowo, A. A., & Sari, D. N. (2025). Erosion hazard level analysis in the Lempong River Sub-Watershed Jenawi District in 2024. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1425, 012001.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Agriculture Handbook No. 537. Washington DC: USDA.