

Tinjauan Sistematis Nilai dan Efektivitas Faktor P (Praktik Pendukung) dalam Model USLE/RUSLE untuk Pengendalian Erosi

Nurmaranti Alim^{1*}, Setyardi Pratika Mulya²

¹Program Studi Agroekoteknologi, Universitas Sulawesi Barat, 91214

²Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Institut Pertanian Bogor 16680

*Email: nurmaranti.alim@unsulbar.ac.id

Received : 24 Oktober 2025
Accepted : 15 Desember 2025
Available online : 21 Desember 2025

ABSTRACT

Erosion is a major environmental issue that affects soil fertility, water quality, and ecosystem balance. The USLE (Universal Soil Loss Equation) and RUSLE (Revised USLE) are widely used empirical models for estimating soil loss. However, one of their components, the P-factor (practice factor), remains a key source of inaccuracy. This study aims to analyze the development of determining the P factor value in the USLE/RUSLE erosion prediction model. The determination of P values based on conventional lookup tables often fails to represent actual field conservation practices. This study used the Systematic Literature Review (SLR) method on 50 selected articles from 2010–2025, using the ScienceDirect and Scopus databases. The articles included internationally reputable journals in Quartile 1 to 3 in the fields of Environmental Science and Hydrology. The results reveal a dominant trend toward integrating empirical models with Geographic Information System (GIS) and remote sensing technologies to produce more dynamic and spatially explicit P-factor maps. Several studies calibrated the P-factors in Soil and Water Assessment Tool (SWAT) models to improve sediment estimation accuracy, while field-based empirical approaches yielded more contextual P values. Adaptive, site-specific approaches are required to enhance the accuracy of soil erosion prediction.

Keywords: P-factor; Remote sensing, RUSLE, SLR, USLE

ABSTRAK

Erosi merupakan isu penting terkait lingkungan karena berdampak pada kesuburan tanah, kualitas air, dan keseimbangan ekosistem. Model USLE (*Universal Soil Loss Equation*) dan RUSLE (*Revised USLE*) merupakan model empiris yang telah banyak digunakan untuk memperkirakan kehilangan tanah. Akan tetapi salah satu komponen yaitu faktor P (praktik pendukung) masih menjadi komponen ketidakakuratan model. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan penentuan nilai faktor P pada model prediksi erosi USLE/RUSLE. Penentuan nilai P yang dinilai dari tabel konvensional sering tidak mencerminkan kondisi konservasi aktual di lapangan. Kajian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) terhadap 50 artikel terpilih periode 2010–2025 dengan basis data *ScienceDirect* dan *Scopus*. Artikel mencakup jurnal bereputasi internasional dengan kategori Quartil 1 hingga Quartil 3 pada bidang *Environmental Science* dan *Hydrology*. Hasil menunjukkan tren yang dominan terhadap integrasi model empiris dengan teknologi *Geographic Information System* (GIS) dan penginderaan jauh untuk menghasilkan peta P-faktor yang lebih dinamis dan spasial. Beberapa literatur melakukan kalibrasi terhadap faktor P pada model *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) untuk meningkatkan akurasi estimasi sedimen, sedangkan pendekatan empiris lapangan menghasilkan nilai P yang lebih kontekstual. Pendekatan adaptif berbasis kondisi aktual diperlukan untuk meningkatkan akurasi prediksi erosi.

Kata kunci: Faktor P, Penginderaan jauh, RUSLE, SLR, USLE

PENDAHULUAN

Erosi tanah, yang umumnya disebabkan curah hujan dan limpasan, merupakan isu lingkungan utama karena berdampak pada produktivitas dan kesuburan tanah, pertanian, kualitas air, sedimentasi, dan keseimbangan ekosistem global (Benavidez et al., 2018; Fredj et al., 2024; Hateffard et al., 2021; Panagos et al., 2015). Model USLE (*Universal Soil Loss Equation*) serta *revised* (RUSLE) merupakan alat standar namun esensial untuk memperkirakan kehilangan tanah, yang menggunakan enam faktor multiplikatif dalam perhitungannya (Li et al., 2024; Scholand & Schmalz, 2024). USLE merupakan alat yang banyak digunakan dalam 20 tahun terakhir, akan tetapi faktor P (praktik konservasi) sebagai komponen persamaan yang sensitif terhadap intervensi manajemen lahan seringkali diparameterisasi secara sederhana atau ditentukan berdasarkan nilai tabel baku (konvensional) (De Paula et al., 2025; Tian et al., 2021). Penemuan paling signifikan François et al. (2024) secara ilmiah memberikan validasi bahwa sensitivitas global faktor P yang paling rendah dan telah menguatkan temuan tentang ketidaktepatan penggunaan nilai dari tabel *lookup* tunggal Faktor P. Hal tersebut menunjukkan perlunya peningkatan metodologi pemodelan yang lebih dinamis dan spasial. Borrelli et al. (2017) menyatakan bahwa faktor P harus menjadi fokus kebijakan pertanian global karena faktor P memiliki dampak terbesar dalam menekan laju erosi

Meskipun pengaruh tindakan konservasi tanah dan air (*Soil and Water Conservation*) terhadap faktor P telah dikonfirmasi dalam penelitian-penelitian sebelumnya, namun masih terdapat kekurangan penelitian yang membahas secara kuantitatif dampak berbagai jenis tindakan SWC (*Soil and Water Conservation*) terhadap faktor P pada skala regional erosi tanah (Tian et al., 2021). Nilai baku pada faktor P tersebut mengakibatkan estimasi kehilangan tanah yang tidak realistis (terlalu tinggi), sehingga perlu dilakukan pengembangan metodologi pemetaan P-faktor yang realistis, terperinci, dan berbasis pada kualitas implementasi konservasi lapangan untuk meningkatkan akurasi pemodelan erosi berskala DAS (De Paula et al., 2025; Didoné et al., 2021; Scholand & Schmalz, 2024; Tian et al., 2021). Model USLE telah bertransformasi dengan

adanya integrasi terhadap sistem informasi geospasial (SIG) dan *remote sensing*, sehingga dapat memprediksi distribusi kehilangan tanah spasial dan efisien (Islam et al., 2020, 2024; Kumar et al., 2022; Pham et al., 2018).

Model *Systematic Literature Review* (SLR) digunakan untuk melakukan identifikasi, klasifikasi, dan interpretasi terhadap temuan hasil penelitian yang relevan (Pahleviannur, 2024). Dengan menggunakan kerangka kerja seperti PRISMA 2020, SLR memastikan bahwa tinjauan literatur dilakukan secara transparan untuk memberikan sintesis yang ketat dan mengidentifikasi keadaan penelitian saat ini (Pineda et al., 2025). Tinjauan SLR pada kajian ini bertujuan untuk: (1) Mengidentifikasi dan menganalisis tren perkembangan metodologi penentuan Faktor P dalam pemodelan erosi (USLE/RUSLE/SWAT) pada literatur ilmiah terkemuka yang terpublikasi antara tahun 2010 hingga 2025; (2) Menilai efektivitas dan kontribusi pendekatan pemodelan spasial (GIS/*remote sensing*) terhadap peningkatan akurasi P-faktor.

BAHAN DAN METODE

Kajian ini menggunakan pendekatan SLR yang didasarkan pada tinjauan literatur terstruktur dan berulang, dengan tujuan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis semua temuan penelitian yang relevan dengan pertanyaan yang spesifik dan terdefinisi dengan jelas. Pencarian literatur primer dilakukan pada basis data ilmiah terkemuka yang terindeks (*ScienceDirect* dan *Scopus*) untuk memastikan kualitas dan relevansi akademik dari sumber yang dianalisis. Adapun perangkat lunak pendukung yang digunakan adalah *Research Collaboration Tools*, *WATASE* *UAKE*. Kata Kunci yang digunakan yaitu

- (P-factor OR "P factor") AND (USLE OR RUSLE OR SWAT)
- "P-factor" AND (dynamic OR spatial OR GIS OR "*remote sensing*" OR *calibration*)

Tahapan selanjutnya yaitu proses seleksi artikel dengan mempertimbangkan : (a) rentang tahun 2010-2025; (b) fokus topik; (c) artikel penelitian dan (d) *open access*. Kriteria seleksi artikel, berfokus pada pengaruh faktor P pada rumus empiris, menetapkan batas inklusi/eksklusi yang jelas; verifikasi ganda lalu menjamin konsistensi

kriteria dan objektivitas data, sehingga proses SLR menjadi lebih teliti.

Artikel yang teridentifikasi dalam tahap pencarian kemudian dikumpulkan dan dibahas pada lembar kerja untuk analisis secara sistematis. Terdapat dua tahapan analisis data yaitu ekstraksi data kunci dan sintesis tematik.

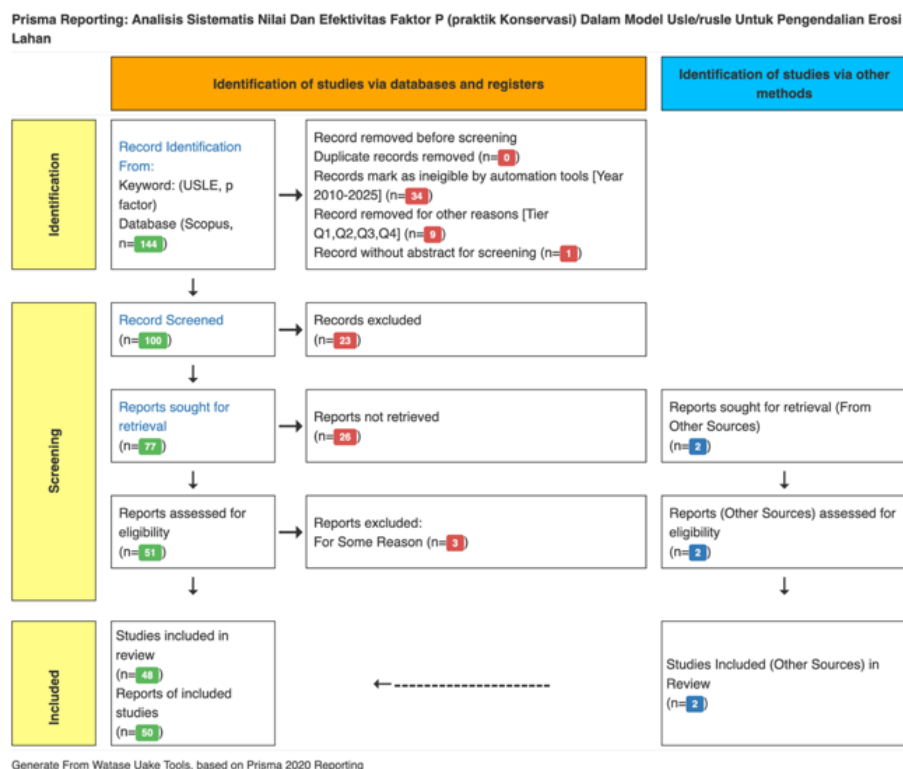
1. Pada analisis/ekstraksi data kunci meliputi penulis dan tahun publikasi, pendekatan/modifikasi faktor-P serta temuan kunci.
2. Analisis Tematik dengan mengelompokkan ke dalam kategori tematik utama meliputi pendekatan permodelan spasial GIS/*remote sensing*, kalibrasi model hidrologi SWAT, dan penentuan faktor P yang dimodifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

1. Proses Seleksi Literatur dan Data Awal

Setelah dilakukan pencarian dengan kata kunci tersebut, didapatkan sekitar 144 artikel yang bersumber dari (*ScienceDirect* dan *Scopus*). Kemudian terdapat artikel yang tidak terseleksi karena tidak dalam rentang 2010-2025 (34 artikel); tidak termasuk fokus topik/Q1, Q2 dan Q3 (9 artikel), tipe dokumen dan akses (1 artikel). Selain itu, terdapat beberapa pertimbangan lain sehingga artikel yang dilakukan *screening* sebanyak 50 artikel. Proses seleksi ini disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Prisma SLR dari Analisis Sistematis

2. Perkembangan Penelitian USLE/RUSLE

Artikel yang membahas terkait USLE/RUSLE telah banyak berkembang dan ditemukan tren pembahasan Faktor P dalam literatur ilmiah sejak tahun 2010 hingga tahun 2025. Pada Gambar 2 menunjukkan pengembangan terkait ketidakakuratan dan modifikasi Faktor P telah banyak dibahas. Akan tetapi, modifikasi atau pengembangannya masih

belum terstandarisasi dengan baik, khususnya untuk prediksi erosi di DAS tropis Indonesia.

Identifikasi terkait tren dan fokus penelitian yang sering digunakan juga dapat dilihat pada Gambar 3. *World Cloud* dari kajian literatur dengan topik erosi tanah, konservasi lahan dan faktor P pada tahun 2010-2025. Visualisasi *world cloud* ini menunjukkan pola dari berbagai penelitian yang telah dilakukan. Hasil

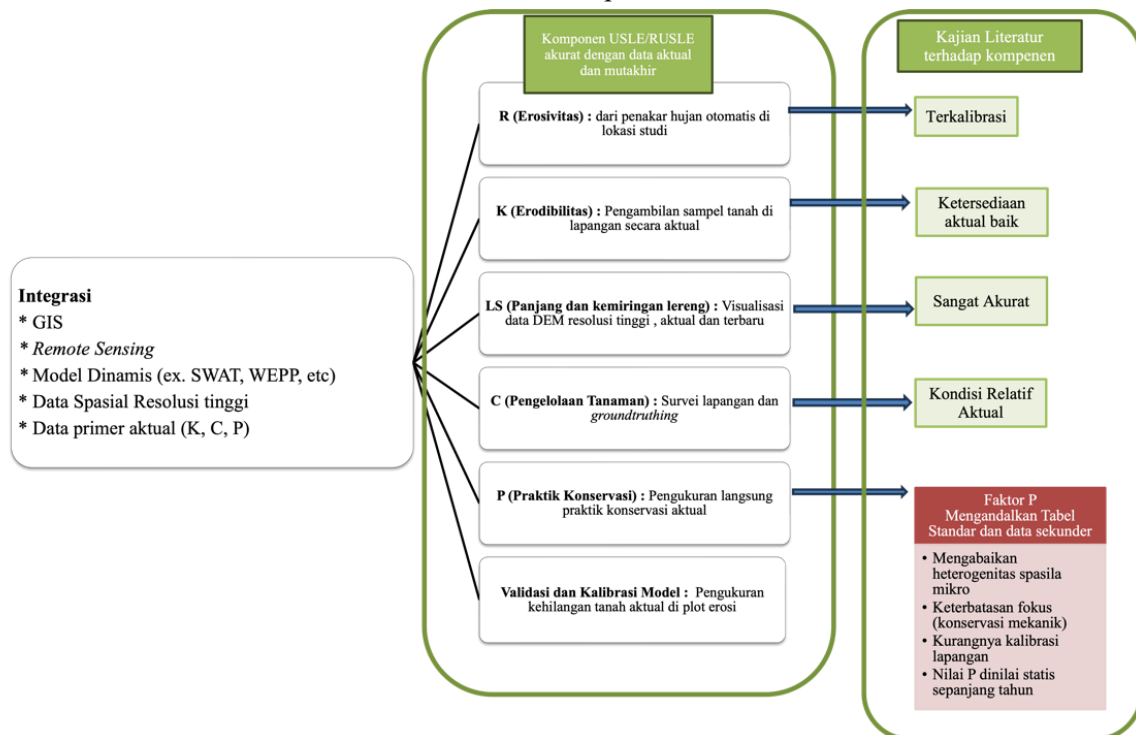
Yearly Article

Year	Articles
2010	1
2011	1
2012	1
2013	1
2014	3
2015	3
2016	4
2017	3
2018	4
2019	2
2020	7
2021	11
2022	5
2023	3
2024	3
2025	1

Pendekatan pemodelan dan analisis spasial telah dikembangkan secara terintegrasi, yang ditunjukkan oleh ukuran kata yang lebih besar pada Gambar 3. Adapun lokasi penelitian yang dipilih (seperti India dan Ethiopia) adalah wilayah dengan tingkat kerentanan yang tinggi terhadap erosi dan degradasi.

Gambar 3 *Word Cloud*: Visualisasi Distribusi Frekuensi Kata Kunci Utama Penelitian

Penelitian Xiong et al. (2019) mengemukakan bahwa Faktor P dalam model ini berperan penting dalam menggambarkan efektivitas praktik konservasi tanah, namun masih terdapat ketidakpastian dalam nilai faktor P terutama di skala besar. Hal ini menyebabkan estimasi erosi global tidak akurat, karena variasi spasial praktik konservasi jarang diperhitungkan secara tepat. Kondisi komponen USLE/RUSLE saat ini berdasarkan kajian literatur dapat dilihat pada Gambar 4.



114

Pada Gambar 4 tersebut disajikan bahwa faktor dalam model empiris telah banyak dikaji/dimodifikasi untuk prediksi erosi tanah (khususnya komponen R, K, L, S dan C). Faktor K mempertimbangkan persentase tekstur dan bahan organik. Faktor LS diperoleh menggunakan metode *Unit Sampling Plot Experimental Design* (USPED) dengan *Digital Elevation Model* (DEM) resolusi 10 meter untuk meningkatkan akurasi. Faktor R dihitung dari data curah hujan periode 1961–2000, sedangkan faktor C diturunkan dari indeks vegetasi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) berdasarkan empat musim (Rizac et al., 2025). Faktor K diukur secara hati-hati di lapangan, Faktor P hanya ditentukan secara tabulasi. Selain itu, penetapan nilai Faktor P (Praktik Dukungan) dalam skala global, meskipun penting, akan tetapi merupakan

sumber ketidakakuratan yang paling besar, terutama jika tidak divalidasi dengan data lapangan regional (Li et al., 2024b; Ostovari et al., 2017).

4. Analisis Tematik Kajian Literatur

Pada Tabel 1. menampilkan hasil analisis ekstraksi data kunci dan analisis tematik dengan mengelompokkan ke dalam kategori tematik utama dari artikel-artikel terpilih yang direview. Patil et al. (2017) mengemukakan bahwa USLE telah lama digunakan untuk memprediksi erosi, namun data input di lapangan sulit didapat dengan metode konvensional. Teknologi GIS dan *remote sensing* dapat memberikan kemudahan dalam mengumpulkan data spasial dan menjadikan pemodelan lebih akurat dan efisien.

Tabel 1 Kajian Literatur Utama

No.	Tema Pembahasan Kritis (Fokus)	Ringkasan Modifikasi/ Pendekatan Faktor P	Ringkasan Metode & Data yang Digunakan (Komparatif)	Hasil Utama & Implikasi Ilmiah (Gabungan)	Sumber
1	Pemodelan Faktor P Spasial Skala Besar dan Regional (RUSLE/USLE-GIS)	- Faktor P ditentukan secara spasial berdasarkan Peta Penggunaan Lahan/ Penutup Lahan (LULC), praktik kontur (GAEC), dan fitur perlindungan linier (tembok/batas rumput). - Pendekatan ini bertujuan mengatasi keterbatasan nilai P tabel tunggal.	- Model: RUSLE/USLE terintegrasi GIS (ArcGIS/QGIS). - Data: DEM resolusi tinggi (12.5m - 30m), Citra Satelit (Sentinel-2, LISS III), Peta LULC, dan kriteria kemiringan spesifik negara/regional.	1. Peta Erosi Terperinci: Integrasi GIS/RS memungkinkan pemetaan risiko erosi dengan akurasi yang lebih baik pada skala regional, mengidentifikasi <i>hotspot</i> erosi. 2. Dampak Konservasi: menunjukkan bahwa praktik konservasi di Uni Eropa dapat mengurangi erosi hingga 31%. 3. P-factor Pasca-Bencana membuktikan bahwa penyesuaian P-factor untuk kondisi pasca-kebakaran sangat krusial, menunjukkan lonjakan kehilangan tanah ekstrem jika P tidak dikoreksi.	Bing & Lei (2022); Panagos et al., (2015); Selmy et al., (2021); Valkanou et al., (2022)

No.	Tema Pembahasan Kritis (Fokus)	Ringkasan Modifikasi/Pendekatan Faktor P	Ringkasan Metode & Data yang Digunakan (Komparatif)	Hasil Utama & Implikasi Ilmiah (Gabungan)	Sumber
2	Faktor P sebagai Parameter Kalibrasi Kunci dalam Model Hidrologi (SWAT)	Faktor P (USLE_P) diperlakukan sebagai parameter sensitif dan disesuaikan (dikalibrasi) menggunakan perangkat lunak optimasi (SWAT-CUP) untuk meminimalkan perbedaan antara simulasi sedimen dan data observasi <i>streamflow</i> .	Model: SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Metode: Kalibrasi menggunakan algoritma seperti SUFI-2. Data: Data iklim, DEM, Peta Lahan, dan data sedimen/aliran observasi (bulanan/tahunan) di <i>outlet</i> DAS.	1. Nilai P Optimal Rendah: Studi di wilayah semi-kering dan wilayah dengan depresi topografi menemukan nilai P-factor yang sangat rendah (0.28-0.45). 2. Implikasi: Nilai P rendah ini tidak hanya mencerminkan praktik konservasi, tetapi juga efek retensi sedimen non-praktik seperti depresi topografi/rawa-rawa, menunjukkan P-factor menjadi <i>proxy</i> untuk <i>sediment delivery ratio</i> . 3. Peningkatan Akurasi: Kalibrasi P-factor terbukti penting untuk meningkatkan performa model SWAT dalam simulasi hasil sedimen	Almendinger et al. (2014); Aouissi et al. (2025); Ayalew & Bharti (2022); Hosseini & Khaleghi (2020)
3	Penentuan Faktor P Empiris (Eksperimental) dan Penerapannya	Faktor P diukur secara langsung di lapangan (plot) berdasarkan rasio kehilangan tanah pada lahan dengan praktik konservasi spesifik (misalnya, jenis <i>tillage</i>) dibandingkan dengan lahan referensi (lahan gundul, P=1.0).	Metode: Eksperimen simulasi hujan (<i>Rainfall Simulation Experiment</i>) atau plot <i>runoff</i> standar, desain ortogonal untuk memvariasikan praktik olah tanah (<i>tillage</i>). Lokasi: Fokus pada lahan pertanian kritis (misalnya, tanah hitam Mollisol).	1. Akuntabilitas P Lapangan: Pengukuran empiris memberikan nilai P yang lebih akurat dan kontekstual daripada nilai tabel baku. 2. Efektivitas Tillage: mengukur bahwa praktik tanpa olah tanah (No-Tillage) menghasilkan P-factor terendah (0.57), menjadikannya praktik paling efektif dalam mengurangi erosi di bawah hujan ekstrem. 3. P-factor LULC: Studi lain menggunakan P-factor LULC berbasis RS, menekankan bahwa penentuan P harus selalu disesuaikan dengan konteks manajemen lahan aktual.	Jiao et al. (2022); Weiler et al. (2021)

Pembahasan

1. Efisiensi Integrasi Teknologi Spasial

Dalam prediksi erosi tanah, penggunaan model USLE/RUSLE yang terintegrasi dengan GIS, *remote sensing* dan menggunakan data spasial resolusi tinggi terbukti efisien untuk analisis spasial kehilangan tanah pada skala DAS (da Silva et al., 2012; Erol et al., 2015; Madasamy et al., 2020).

Pendekatan dari Integrasi model USLE dengan teknologi GIS dan analisis OBIA (*Object-Based Image Analysis*) menghasilkan peta erosi tanah yang akurat dan representatif ini tidak hanya memungkinkan penilaian kuantitatif kehilangan tanah tetapi juga evaluasi kualitatif terhadap praktik konservasi yang dilakukan. Penggunaan citra *RapidEye* dan analisis berbasis objek menjadi inovasi utama dalam menentukan faktor P secara spasial. (Drzewiecki et al., 2014).

2. Faktor P sebagai Input Kritis

Model USLE sering mengabaikan atau menyamaratakan faktor P pada skala nasional dan global, padahal praktik konservasi berbeda antar wilayah (Xiong et al., 2019). Faktor P diabaikan (diasumsikan 1) karena ketiadaan data spasial praktik konservasi lahan di wilayah studi yang berpotensi bias. Hal tersebut membuktikan perlunya data spasial faktor P yang representatif dan dinamis berdasarkan praktik konservasi setempat agar estimasi erosi lebih akurat (García et al., 2021; Schürz et al., 2020). Menurut Didoné et al. (2021) mengemukakan terobosan metodologis dengan fokus utamanya adalah meningkatkan akurasi Faktor P (Praktik Pendukung) yang dikenal sebagai salah satu input paling sulit dan subjektif dalam persamaan erosi universal (USLE/RUSLE).

3. Rekomendasi dan Aplikasi Skenario

Penurunan parameter khususnya faktor P masih menjadi tantangan karena data yang tidak memadai dan variasi praktik konservasi tanah. Penulis merekomendasikan penggunaan metode yang spesifik dan adaptif terhadap kondisi lokal, termasuk pemanfaatan NDVI dan teknologi GIS/RS serta perlunya penelitian lebih lanjut untuk pendekatan faktor P agar akurasi model meningkat (Piyathilake et al., 2021).

Aplikasi USLE/GIS bertransformasi dari prediksi erosi tanah menjadi alat perencanaan spasial berbasis skenario. Kekuatan utamanya

terletak pada penggunaan Faktor P sebagai variabel kunci skenario untuk memproyeksikan efektivitas praktik konservasi di masa depan, yang sangat berharga bagi pengelola lingkungan (Piyathilake et al., 2021; Weiler et al., 2021).

KESIMPULAN

Integrasi model USLE/RUSLE dengan teknologi GIS, *remote sensing*, dan analisis OBIA terbukti meningkatkan akurasi dan efisiensi prediksi erosi tanah pada skala DAS. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi spasial yang lebih detail terhadap kehilangan tanah serta efektivitas praktik konservasi. Faktor P (praktik pendukung) menjadi komponen paling krusial sekaligus paling sulit ditentukan karena keterbatasan data spasial yang representatif. Penggunaan citra resolusi tinggi seperti *RapidEye* dan indikator vegetasi (NDVI) menawarkan solusi untuk pemetaan faktor P yang lebih adaptif terhadap kondisi lokal. Dengan demikian, model USLE/GIS tidak hanya berfungsi sebagai alat prediksi erosi, tetapi juga sebagai instrumen perencanaan konservasi berbasis skenario, yang mampu memproyeksikan efektivitas tindakan konservasi di masa depan secara lebih dinamis dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Almendinger, J. E., Murphy, M. S., & Ulrich, J. S. (2014). Use of the Soil and Water Assessment Tool to Scale Sediment Delivery from Field to Watershed in an Agricultural Landscape with Topographic Depressions. *Journal of Environmental Quality*, 43(1), 9–17. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0340>
- Aouissi, J., Dridi, S., Benabdallah, S., Nsiri, I., Benrhouma, A., & Attia, R. (2025). Erosion Modeling At the Rmil Watershed in Northern Tunisia Using the Usle and the Swat Models. *Applied Ecology and Environmental Research*, 23(2), 2541–2563. https://doi.org/10.15666/aeer/2302_25412563
- Ayalew, L. T., & Bharti, R. (2022). Modeling sediment yield of Rib watershed, Northwest Ethiopia. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 28(S1), 491–502. <https://doi.org/10.1080/09715010.2020.1797544>

- Benavidez, R., Bethanna, J., Deborah, M., & Kevin, N. (2018). A-review-of-the-Revised-Universal-Soil-Loss-Equation-RUSLE-With-a-view-to-increasing-its-global-applicability-and-improving-soil-loss-estimates2018Hydrology-and-Earth-System-SciencesOpen-Access.pdf. *Hydrology and Earth System Sciences*, 1995, 6059–6086.
- Bing, D., & Lei, S. (2022). Remote Sensing Quantitative Research on Soil Erosion in the Upper Reaches of the Minjiang River. *Frontiers in Earth Science*, 10(July), 1–15. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.930535>
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schütt, B., Ferro, V., Bagarello, V., Oost, K. Van, Montanarella, L., & Panagos, P. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>
- da Silva, R. M., Montenegro, S. M. G. L., & Santos, C. A. G. (2012). Integration of GIS and remote sensing for estimation of soil loss and prioritization of critical sub-catchments: A case study of Tapacurá catchment. *Natural Hazards*, 62(3), 953–970. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0128-2>
- De Paula, A. L., Pereira dos Santos, A., Belfort Poletti, F., & Wagner Lourenço, R. (2025). Adjustment of the conservation practices factor calculation in estimating soil loss. *RAEGA - O Espaço Geográfico Em Análise*, 63(1), 125–151. <https://doi.org/10.5380/raega.v63i1.100335>
- Didoné, E. J., Gomes Minella, J. P., & Allasia Piccilli, D. G. (2021). How to model the effect of mechanical erosion control practices at a catchment scale? *International Soil and Water Conservation Research*, 9(3), 370–380. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.01.007>
- Drzewiecki, W., Wężyk, P., Pierzchalski, M., & Szafrńska, B. (2014). Quantitative and Qualitative Assessment of Soil Erosion Risk in Małopolska (Poland), Supported by an Object-Based Analysis of High-Resolution Satellite Images. *Pure and Applied Geophysics*, 171(6), 867–895. <https://doi.org/10.1007/s00024-013-0669-7>
- Erol, A., Koşkan, & Başaran, M. A. (2015). Socioeconomic modifications of the universal soil loss equation. *Solid Earth*, 6(3), 1025–1035. <https://doi.org/10.5194/se-6-1025-2015>
- François, M., Gordon, C. A., Costa de Oliveira, U., Rousseau, A. N., & Mariano-Neto, E. (2024). Assessing the Global Sensitivity of RUSLE Factors: A Case Study of Southern Bahia, Brazil. *Soil Systems*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/soilsystems8040125>
- Fredj, A., Ghernaout, R., Dahmani, S., & Remini, B. (2024). Assessing soil erosion through the implementation of the RUSLE model and geospatial technology in the Isser watershed, northern Algeria. *Water Supply*, 27(7), 2487–2505. <https://doi.org/10.2166/ws.2024.154>
- García, L., Veneros, J., Pucha-Cofrep, F., Chávez, S., Bustamante, D. E., Calderón, M. S., Morales, E., & Oliva, M. (2021). Geospatial Analysis of Soil Erosion including Precipitation Scenarios in a Conservation Area of the Amazon Region in Peru. *Applied and Environmental Soil Science*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5753942>
- Hateffard, F., Mohammed, S., Alsafadi, K., Enaruvbe, G. O., Heidari, A., Abdo, H. G., & Rodrigo-Comino, J. (2021). CMIP5 climate projections and RUSLE-based soil erosion assessment in the central part of Iran. *Scientific Reports*, 11(1), 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86618-z>
- Hosseini, S. H., & Khaleghi, M. R. (2020). Application of SWAT model and SWAT-CUP software in simulation and analysis of sediment uncertainty in arid and semi-arid watersheds (case study: the Zoshk–Abardeh watershed). *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(4), 2003–2013. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00846-2>
- Islam, M. R., Imran, H. M., Islam, M. R., & Saha, G. C. (2024). A RUSLE-based comprehensive strategy to assess soil erosion in a riverine country, Bangladesh. *Environmental Earth Sciences*, 83(6).

- <https://doi.org/10.1007/s12665-024-11455-y>
- Islam, M. R., Jaafar, W. Z. W., Hin, L. S., Osman, N., & Karim, M. R. (2020). Development of an erosion model for Langat River Basin, Malaysia, adapting GIS and RS in RUSLE. *Applied Water Science*, 10(7). <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01185-4>
- Jiao, J., Qin, W., Li, K., & Yin, Z. (2022). Study on the P Factor of Tillage Practices in the Typical Black Soil Areas of Northeast China Under Extreme Rainfall Conditions. *Applied Ecology and Environmental Research*, 20(2), 1613–1633. https://doi.org/10.15666/aer/2002_16131633
- Kumar, M., Sahu, A. P., Sahoo, N., Dash, S. S., Raul, S. K., & Panigrahi, B. (2022). Global-scale application of the RUSLE model: a comprehensive review. *Hydrological Sciences Journal*, 67(5), 806–830. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.202277>
- Li, J., Xiong, M., Sun, R., & Chen, L. (2024a). 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>
- Li, J., Xiong, M., Sun, R., & Chen, L. (2024b). 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>
- Madasamy, N., Joshua, M. B., & Rajangam, L. (2020). Estimation of soil loss by an integrated approach of USLE and geospatial techniques—a case study of Kumulur watershed. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(19). <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05929-z>
- Ostovari, Y., Ghorbani-Dashtaki, S., Bahrami, H. A., Naderi, M., & Dematte, J. A. M. (2017). Soil loss prediction by an integrated system using RUSLE, GIS and remote sensing in semi-arid region. *Geoderma Regional*, 11(February), 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.06.003>
- Pahleviannur, M. R. (2024). Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Pelestarian Lingkungan Hidup melalui Hukum Adat SASI di Indonesia: A Systematic Literature Review. *Renewable Energy Issues*, 1(1), 10. <https://doi.org/10.47134/rei.v1i1.1>
- Panagos, P., Borrelli, P., & Meusburger, K. (2015). A new European slope length and steepness factor (LS-factor) for modeling soil erosion by water. *Geosciences (Switzerland)*, 5(2), 117–126. <https://doi.org/10.3390/geosciences5020117>
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., & Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science and Policy*, 54, 438–447. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>
- Patil, R. J., Sharma, S. K., Tignath, S., & Sharma, A. P. M. (2017). Use of remote sensing, GIS and C++ for soil erosion assessment in the Shakkar River basin, India. *Hydrological Sciences Journal*, 62(2), 217–231. <https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1217413>
- Pham, T. G., Degener, J., & Kappas, M. (2018). Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(2), 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.01.001>
- Pineda, V. G., Valencia-Arias, A., Giraldo, F. E. L., & Zapata-Ochoa, E. A. (2025). Integrating artificial intelligence and quantum computing: A systematic literature review of features and applications. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, 7(April 2025), 26–39. <https://doi.org/10.1016/j.ijcce.2025.08.002>
- Piyathilake, I. D. U. H., Udayakumara, E. P. N., & Gunatilake, S. K. (2021). Gis and rs based soil erosion modelling in sri lanka:

- A review. *Journal of Agricultural Sciences - Sri Lanka*, 16(1), 143–162. <https://doi.org/10.4038/jas.v16i1.9192>
- Scholand, D., & Schmalz, B. (2024). Automated quantification of contouring as support practice for improved soil erosion estimation considering ridges. *International Soil and Water Conservation Research*, 12(4), 761–774. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2024.07.001>
- Schürz, C., Mehdi, B., Kiesel, J., Schulz, K., & Herrnegger, M. (2020). A systematic assessment of uncertainties in large-scale soil loss estimation from different representations of USLE input factors-a case study for Kenya and Uganda. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(9), 4463–4489. <https://doi.org/10.5194/hess-24-4463-2020>
- Selmy, S. A. H., Al-Aziz, S. H. A., Jiménez-Ballesta, R., García-Navarro, F. J., & Fadl, M. E. (2021). Modeling and assessing potential soil erosion hazards using usle and wind erosion models in integration with gis techniques: Dakhla oasis, egypt. *Agriculture (Switzerland)*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/agriculture1111124>
- Tian, P., Zhu, Z., Yue, Q., He, Y., Zhang, Z., Hao, F., Guo, W., Chen, L., & Liu, M. (2021). Soil erosion assessment by RUSLE with improved P factor and its validation: Case study on mountainous and hilly areas of Hubei Province, China. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(3), 433–444. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.04.007>
- Valkanou, K., Karymbalis, E., Bathrellos, G., Skilodimou, H., Tsanakas, K., Papanastassiou, D., & Gaki-Papanastassiou, K. (2022). Soil Loss Potential Assessment for Natural and Post-Fire Conditions in Evia Island, Greece. *Geosciences (Switzerland)*, 12(10), 1–15. <https://doi.org/10.3390/geosciences12100367>
- Weiler, E. B., Tamiosso, M. F., Cruz, J. C., Reichert, J. M., Schorr, L. P. B., Mantovanelli, B. C., Dos Santos, F. D., Fantinel, R. A., & Baumhardt, E. (2021). Integrated environmental management and planning based on soil erosion susceptibility scenarios. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 93(4), 1–16. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120191120>
- Xiong, M., Sun, R., & Chen, L. (2019). Global analysis of support practices in USLE-based soil erosion modeling. *Progress in Physical Geography*, 43(3), 391–409. <https://doi.org/10.1177/0309133319832016>