

Analisis Tingkat Bahaya Erosi Menggunakan Metode *Universal Soil Loss Equation (USLE)* Area Pasca Tambang Pit H3, Kecamatan Sambaling, Kabupaten Berau

¹Lilik Nur Ikhsan, ²Ilham, ³Asep Irwan, ⁴Fadhila Muhammad Libasut Taqwa, ⁵Nurcholis Salman

^{1, 2, 3}, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Sains Bandung

⁴Program Studi Teknik Sipil, Universitas Ibn Khaldun Bogor

⁵Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Muhammadiyah Tasikmalaya

Email: ilham@itsb.ac.id; fadhila.muhammad@uika-bogor.ac.id; nurcholissalman@umtas.ac.id

ABSTRAK

Kegiatan pasca tambang sering meninggalkan lahan terbuka yang rentan mengalami erosi. Penelitian ini bertujuan menganalisis tingkat bahaya erosi pasca tambang Pit H3, Kecamatan Sambaliung, Kabupaten Berau, dengan mempergunakan metode *Universal Soil Loss Equation (USLE)* berbasis Sistem Informasi Geografis. Faktor erosivitas hujan (R) dihitung dari data curah hujan Stasiun Binungan (2012–2021) dan diproyeksikan hingga 2030 dengan model stokastik Thomas Fiering, menunjukkan peningkatan nilai R dari 2.022 menjadi 2.379 m·ton·cm/ha·tahun. Dari sisi erodibilitas (K), tanah Alluvial (K=0,47) lebih rentan dibanding *latosol* dan *litosol* (K=0,36) akibat dominasi fraksi debu dan rendah organik. Faktor LS menunjukkan 13% area berlereng curam (>25%) dan 0,4% sangat curam (>40%), yang mempercepat aliran permukaan. Sementara itu, faktor CP mayoritas area didominasi hutan sekunder (52%) dan hutan primer (25%) dengan nilai CP rendah, meski semak belukar (6%) dan area terbuka (3%) tetap menjadi sumber erosi lokal. Hasil analisis *USLE* menunjukkan mayoritas area termasuk kategori bahaya erosi sangat ringan (87%), meskipun terdapat 2% area dengan tingkat sangat berat. Laju erosi hasil perhitungan mencapai 48.797,32 ton/tahun (101,81 ton/ha/tahun) dan dapat ditekan menjadi 23.540,83 ton/tahun (49,11 ton/ha/tahun) melalui skenario konservasi lanjutan. Dengan luas *catchment* 4,79 km², nilai *Sediment Delivery Ratio (SDR)* diperoleh sebesar 25,6%, menghasilkan *sediment yield (SY)* 12.493,1 ton/tahun pada kondisi eksisting dan 6.033,5 ton/tahun pada skenario konservasi. Dengan kapasitas tampung void Pit H3 4.800.000 m³ (≈6.240.000 ton), umur tampung void diperkirakan mencapai 500 tahun, dan meningkat menjadi 1.034 tahun dengan skenario konservasi lanjutan. Hasil ini menegaskan pentingnya konservasi berkelanjutan untuk mengendalikan erosi dan menjaga fungsi void sebagai penampung jangka panjang.

Kata Kunci: Erosi, USLE, konservasi lahan, pasca tambang.

ABSTRACT

Post-mining activities often leave open land highly vulnerable to erosion. This study aims to analyze the erosion hazard level in the post-mining area of Pit H3, Sambaliung District, Berau Regency, using the *Universal Soil Loss Equation (USLE)* method supported by Geographic Information Systems (GIS). Rainfall erosivity (R) was calculated from Binungan Station rainfall data (2012–2021) and projected to 2030 using the Thomas Fiering stochastic model, showing an increase from 2,022 to 2,379 m·ton·cm/ha·year. In terms of soil erodibility (K), Alluvial soils (K = 0.47) were found to be more prone to erosion compared to *Latosol* and *Litosol* soils (K = 0.36) due to higher silt content and lower organic matter. The LS factor indicates that 13% of the area has steep slopes (>25%) and 0.4% very steep slopes (>40%), accelerating surface runoff. Meanwhile, CP factors reveal that most of the area is dominated by secondary forest (52%) and primary forest (25%) with low CP values, although shrubs (6%) and open land (3%) remain significant contributors to local erosion. USLE results show that 87% of the area falls into the very low hazard class, while 2% is categorized as very high hazard. The estimated erosion rate is 48,797.32 tons/year (101.81 tons/ha/year), which can be reduced to 23,540.83 tons/year (49.11 tons/ha/year) through advanced conservation measures. With a catchment area of 4.79 km², the *Sediment Delivery Ratio (SDR)* was calculated at 25.6%, producing a sediment yield (SY) of 12,493.1 tons/year under current conditions and 6,033.5 tons/year under conservation. Considering the storage capacity of Pit H3 void at 4,800,000 m³ (≈6,240,000 tons), its lifespan is estimated at 500 years under current conditions and could extend to 1,034 years with conservation measures. These findings highlight the importance of sustainable land conservation to control erosion and maintain function of the void as a long-term sediment pond.

Keywords: Erosion, USLE, land conservation, post-mining

Submitted:	Reviewed:	Revised:	Published:
09 Februari 2026	05 Mei 2026	30 Juni 2026	01 Agustus 2026

PENDAHULUAN

Aktivitas penambangan batubara, khususnya metode tambang terbuka, menyebabkan perubahan pada topografi, tata guna lahan, dan kestabilan tanah. Salah satu dampaknya adalah peningkatan potensi erosi yang dapat mengganggu fungsi lingkungan dan mengurangi kapasitas infrastruktur pengendali sedimen. Pada lahan pasca tambang, kondisi terbuka tanpa tutupan vegetasi mempercepat pelepasan partikel tanah yang terbawa aliran permukaan.

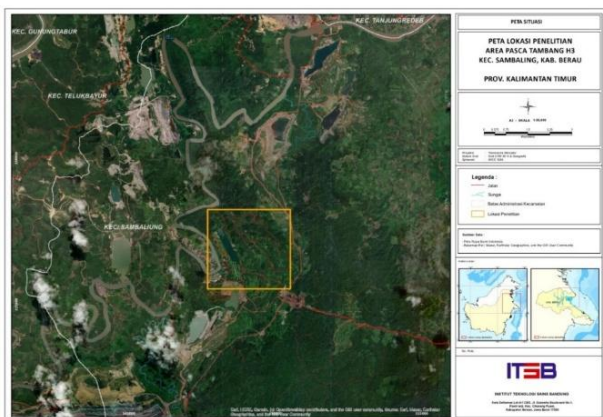
Untuk mengestimasi laju erosi, penelitian ini menggunakan metode *Universal Soil Loss Equation (USLE)* yang memperhitungkan faktor curah hujan (R), erodibilitas tanah (K), panjang dan kemiringan lereng (LS), serta tutupan dan pengelolaan lahan (CP). Kajian difokuskan pada area pasca tambang *Pit H3*, Kecamatan Sambaliung, Kabupaten Berau, dengan dukungan Sistem Informasi Geografis (SIG) guna menghasilkan peta erosi yang akurat dan informatif.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi parameter hidrologi curah hujan sebagai input *USLE*, menilai Tingkat Bahaya Erosi (TBE) pada area pasca tambang *Pit H3* dengan menggunakan metode *USLE* berbasis perangkat lunak *GIS*, serta menganalisis, memberikan rekomendasi, dan memproyeksikan tingkat erosi lima tahun ke depan setelah penerapan rekomendasi tindakan konservasi.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian terletak di di area pasca tambang *Pit H3*, Kecamatan Sambaliung, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur, dengan luas catchment area sekitar 479 hektar, seperti diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1 Lokasi penelitian

Topografi bervariasi dari datar hingga sangat curam, dengan tutupan lahan didominasi hutan sekunder, semak belukar, dan sebagian area terbuka yang telah direvegetasi. Kondisi ini menjadikan *Pit H3* rentan terhadap erosi, terutama pada lereng curam, apabila tidak diimbangi upaya konservasi. Jenis tanah utama adalah Latosol Merah Kuning dan Alluvial, dengan erodibilitas berbeda; tanah Alluvial lebih rentan akibat kandungan fraksi debu tinggi dan bahan organik rendah. Sistem hidrologi kawasan mengalirkan sedimen ke *Void H3* sebagai penampungan awal, kemudian menuju *settling pond* sebelum dialirkan ke sungai terdekat.

Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data

Penelitian ini menggunakan kombinasi data sekunder dan primer untuk menghitung faktor-faktor penentu erosi pada metode *USLE*.

Data sekunder terdiri atas:

1. Curah hujan (2012–2021) dari Stasiun Site Binungan, yang digunakan untuk menghitung faktor R (*Rainfall erosivity*).
2. Jenis tanah dari Dinas PUPR Kabupaten Berau, yang digunakan untuk menentukan nilai K (*Soil erodibility*).

Data primer diperoleh melalui survei lapangan, meliputi:

1. Topografi yang diukur menggunakan *GPS RTK* dan *Total Station*, diolah menjadi *Digital Elevation Model (DEM)* untuk analisis LS (*Slope length and steepness*).
2. Citra foto udara *UAV*, yang diklasifikasi menggunakan supervised classification untuk penentuan jenis tutupan lahan, sehingga menghasilkan nilai C (*Cover management*).
3. Praktik konservasi lahan, yang diperoleh melalui tinjauan prosedur lapangan dan wawancara dengan pengelola tambang, digunakan untuk menentukan faktor P (*Support practice*).

Kombinasi data tersebut memastikan perhitungan *USLE* lebih representatif terhadap kondisi aktual di area pasca tambang *Pit H3*.

Sistem Informasi Geografis (SIG)

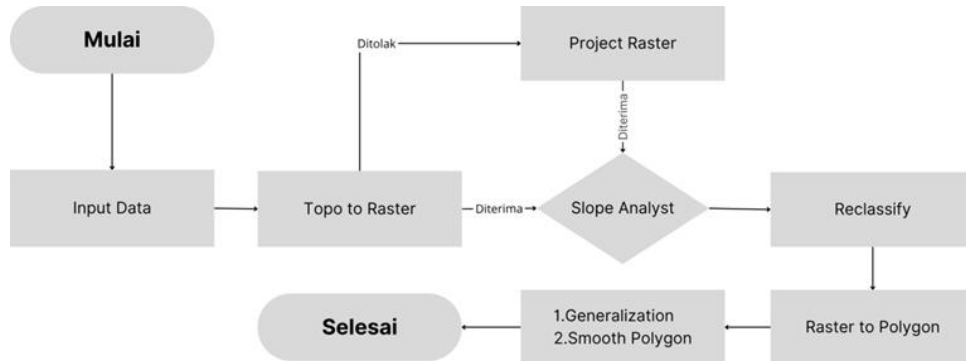
Sistem Informasi Geografis (SIG) berperan sebagai alat utama dalam integrasi dan analisis spasial faktor-faktor *USLE*. Melalui SIG, data curah hujan, jenis tanah, kemiringan lereng, serta tutupan lahan diolah menjadi peta tematik yang saling tumpang tindih (*overlay*), sehingga dapat mengidentifikasi area dengan tingkat bahaya erosi berbeda secara detail. Selain sebagai media pemetaan, SIG juga berfungsi sebagai instrumen

analisis yang memperkuat akurasi perhitungan dan mendukung penyusunan strategi konservasi berbasis spasial.

Digital Elevation Model (DEM)

Digital Elevation Model (DEM) digunakan untuk menggambarkan kondisi topografi dalam bentuk tiga dimensi, yang menjadi dasar perhitungan faktor panjang dan kemiringan lereng (LS). Data

DEM juga digunakan untuk analisis hidrologi seperti pembagian sub-catchment, arah aliran, serta pola distribusi limpasan. Hal ini menjadikan pemodelan erosi lebih akurat dibandingkan metode manual. Dengan dukungan perangkat lunak *ArcGIS*, proses ekstraksi data kemiringan lereng dari *DEM* dapat dilakukan secara sistematis, seperti ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Alur proses perhitungan LS

Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

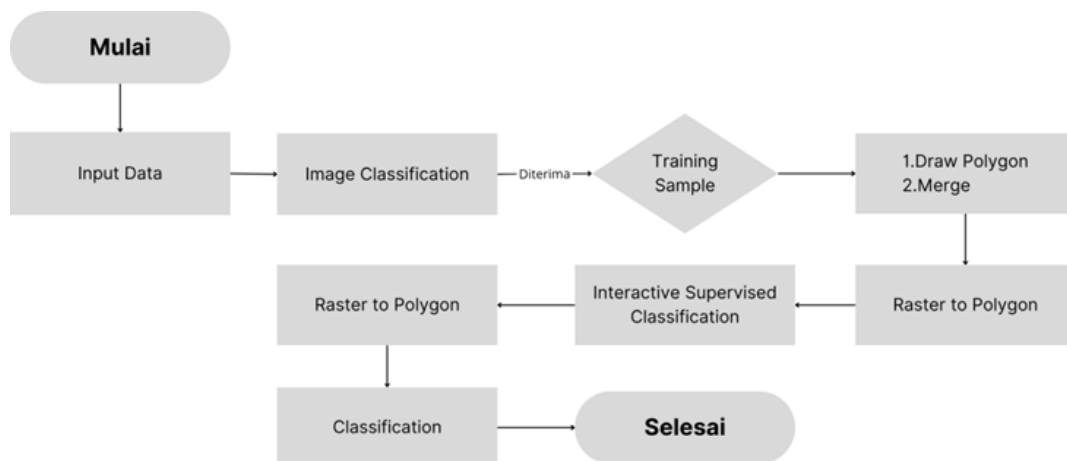
Pemanfaatan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* atau drone memungkinkan diperolehnya citra resolusi tinggi untuk menggambarkan kondisi aktual lapangan. Data *UAV* berfungsi sebagai validasi terhadap hasil analisis SIG dan *DEM*, khususnya terkait tutupan lahan, area terbuka, serta perkembangan rehabilitasi vegetasi. Citra *UAV* juga mampu menangkap detail kecil yang sulit diamati citra satelit, sehingga meningkatkan kualitas interpretasi spasial. Dengan demikian, *UAV* menjadi instrumen penting dalam verifikasi lapangan yang memastikan hasil analisis erosi sesuai dengan kondisi nyata (Gambar 7).



Gambar 7 Verifikasi lapangan dengan UAV

Sumber: Peneliti, 2025

Selain itu, data foto udara *UAV* digunakan dalam penentuan nilai faktor *CP*, yang kemudian diolah menggunakan *ArcGIS*, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Alur proses perhitungan LS

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Erosi pada Area Pasca Tambang

Analisis erosi dapat dilakukan dengan mempergunakan formula *Universal Soil Loss Equation (USLE)* dari Wischmeier & Smith, 1978:

$$A = R \times K \times LS \times CP$$

Keterangan:

A = Laju Erosi / Jumlah tanah yang tererosi (ton/ha/tahun)

R = Faktor curah hujan pertahun yang di rata-ratakan

K = Faktor erodibilitas tanah

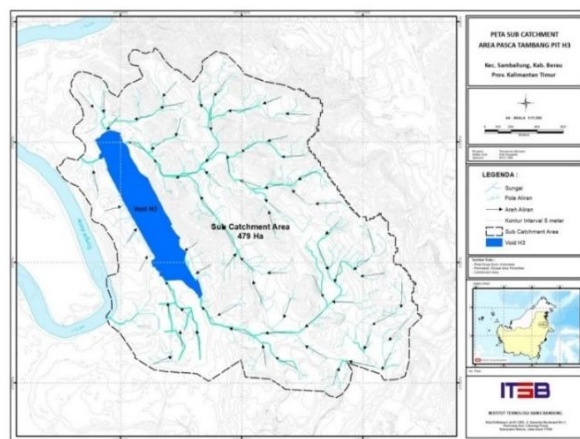
LS = Faktor panjang kemiringan lereng

CP = Faktor Penggunaan Lahan & Pengelolaan Tanah

Hasil integrasi faktor *USLE* digunakan untuk menyusun Tingkat Bahaya Erosi (TBE) sebagai dasar penentuan prioritas konservasi di area pasca tambang. Aliran permukaan dari *sub-catchment* dialirkan ke *Void H3* sebagai kolam penampungan awal untuk menurunkan beban sedimen, kemudian ke *settling pond* sebelum dilepas terkontrol ke sungai setelah memenuhi baku mutu. Peta *sub-catchment area* diperlihatkan pada gambar 2.

Faktor R (Rainfall Erosivity)

Faktor R menggambarkan energi kinetik hujan yang berkontribusi pada pelepasan partikel tanah. Data 2012–2021 menunjukkan periode puncak pada 2014–2016 (khususnya Januari–April).



Gambar 2. Peta *sub-catchment area* penelitian

Sumber: Peneliti, 2025

Perhitungan *R* menggunakan rumus empiris dari Bols (1978) sebagai berikut:

$$El_{30} = 6.119 R^{1.21} \times D^{-0.47} \times M^{0.53}$$

dimana:

El_{30} = Erosivitas curah hujan bulanan rata-rata

R = Curah hujan bulanan (cm)

D = Total hari terjadinya hujan

M = Hujan maksimal yang turun dalam bulan tersebut (cm).

Perhitungan nilai erosivitas hujan diperlihatkan pada tabel 1, yang menghasilkan nilai rata-rata tahunan 2.022 m·ton·cm/ha·tahun, diperoleh dari

$$El_{30} = 6.119 R^{1.21} \times D^{-0.47} \times M^{0.53}$$

= 2022 (Nilai R tahunan saat ini)

Tabel 1. Erosivitas Hujan (R)

Tahun	Erosivitas Hujan (m.ton.cm/ha.bulan)												Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	
2021	259	89	149	206	183	151	115	95	198	132	82	184	1,844
2020	397	131	105	97	210	118	69	65	90	163	91	116	1,651
2019	192	24	148	125	183	116	61	28	15	39	257	187	1,374
2018	215	106	114	136	67	290	144	36	29	82	122	106	1,446
2017	193	194	279	326	91	75	200	183	42	85	80	63	1,810
2016	539	103	116	105	75	79	103	94	403	516	94	174	2,401
2015	417	213	334	174	197	180	32	63	171	214	318	226	2,539
2014	346	212	178	669	262	275	178	103	258	35	736	317	3,570
2013	226	165	88	114	103	131	88	72	113	148	58	119	1,425
2012	162	91	254	183	337	63	151	126	76	351	120	245	2,159
Rerata	295	133	176	213	171	148	114	86	140	177	196	174	2,022

Selanjutnya, untuk mengetahui potensi perubahan di masa depan, nilai R diproyeksikan hingga tahun 2030. Proyeksi menggunakan model stokastik Thomas–Fiering:

$$X_{i,b} = X'_{b-1} + [(r_b \cdot \delta_b) / (\delta_{b-1})] \times [q_{i,b-1} - X'_{b-1}] + [t_{i,b} \cdot \delta_b \cdot (1 - r_b)^{0.5}]$$

Dimana:

$X_{i,b}$: Curah hujan hasil pembangkitan bulan b tahun ke-1

X'_{b-1} : Rerata curah hujan pada bulan b dan bulan b-1

r_b, r_{b-1} : korelasi untuk bulan b dan bulan b-1

δ_b, δ_{b-1} : Standard deviasi bulan b dan bulan b-1

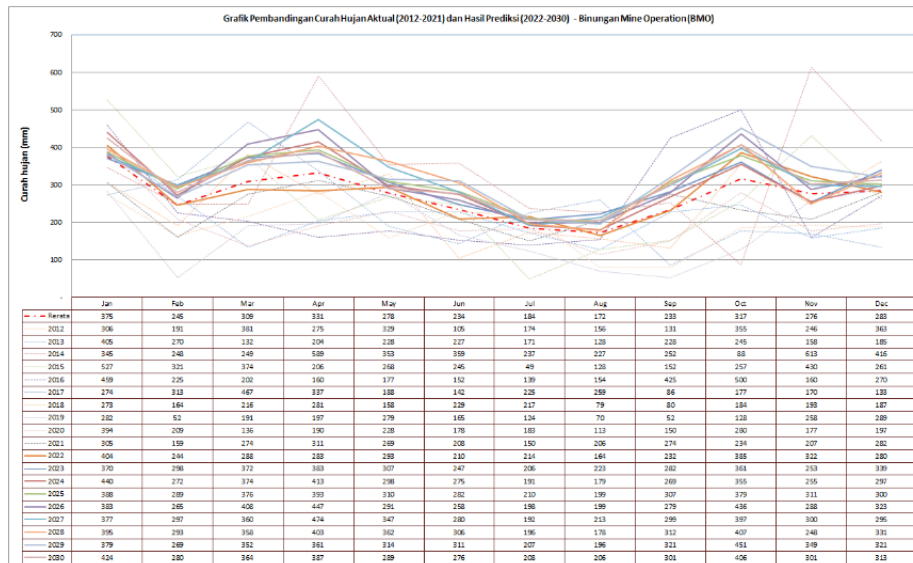
$t_{i,b}$: Bilangan random bulan b

$q_{i,b-1}$: Curah hujan pada tahun ke-I dan bulan b-1

Menunjukkan peningkatan $\pm 18\%$ menjadi 2.379 m·ton·cm/ha·tahun (lihat Tabel 2 dan Gambar 3), yang mengindikasikan peningkatan potensi energi hujan dalam melepaskan partikel tanah.

Tabel 3. Nilai erosivitas hujan hasil pembangkitan data (R')

Tahun	Erosivitas Hujan (m.ton.cm/ha.bulan)												Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	
2030	382	195	279	298	224	226	153	120	215	297	213	233	2,833
2029	350	175	249	304	226	257	148	122	252	322	245	230	2,881
2028	336	205	274	356	287	258	145	95	227	324	171	243	2,920
2027	328	204	283	382	249	202	124	135	251	297	219	205	2,880
2026	322	174	296	369	204	196	139	130	196	341	235	235	2,836
2025	335	197	281	319	229	209	167	113	221	260	223	209	2,764
2024	381	193	282	364	206	203	144	108	186	237	165	204	2,673
2023	311	201	290	299	241	188	151	140	204	282	148	254	2,709
2022	359	170	205	224	227	158	157	93	150	312	255	178	2,488
2021	259	89	149	206	183	151	115	95	198	132	82	184	1,844
2020	397	131	105	97	210	118	69	65	90	163	91	116	1,651
2019	192	24	148	125	183	116	61	28	15	39	257	187	1,374
2018	215	106	114	136	67	290	144	36	29	82	122	106	1,446
2017	193	194	279	326	91	75	200	183	42	85	80	63	1,810
2016	539	103	116	105	75	79	103	94	403	516	94	174	2,401
2015	417	213	334	174	197	180	32	63	171	214	318	226	2,539
2014	346	212	178	669	262	275	178	103	258	35	736	317	3,570
2013	226	165	88	114	103	131	88	72	113	148	58	119	1,425
2012	162	91	254	183	337	63	151	126	76	351	120	245	2,159
Rerata	318	160	221	266	200	178	130	101	174	234	202	196	2,379



Gambar 3 Perbandingan curah hujan aktual dan pembangkitan data
(Sumber: Peneliti, 2025)

Dengan $El30' = 6.119 R^{1.21} x D^{-0.47} x M^{0.53}$
 $= 2379$ (Nilai R' tahunan hasil pembangkitan data)

Faktor K (Soil Erodibility)

Faktor K merepresentasikan tingkat kerentanan tanah terhadap erosi, yang dipengaruhi oleh tekstur tanah, kandungan bahan organik, struktur, serta permeabilitas. Berdasarkan data dari Dinas PUPR Kabupaten Berau. Di lokasi penelitian, Latosol/Litosol ($K=0,36$) cenderung lebih stabil dibanding Aluvial ($K=0,47$) yang didominasi fraksi debu dan rendah bahan organik, sehingga lebih mudah terdispersi oleh aliran permukaan. Distribusi K untuk setiap jenis tanah disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Nilai erodibilitas tanah (K)

Faktor K	Jenis Tanah	Luas (Ha)	%
0.36	Latosol Merah Kuning & Litosol	296.78	62%
0.47	Alluvial	182.54	38%
	Total	479.32	

Sumber: Peneliti, 2025

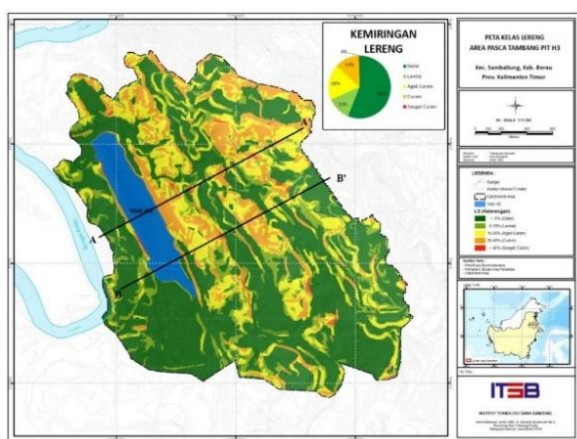
Faktor LS (Slope Length and Steepness)

Faktor LS merepresentasikan pengaruh panjang dan kemiringan lereng terhadap laju erosi. Analisis faktor LS dilakukan menggunakan data *Digital Elevation Model (DEM)*. Area penelitian menunjukkan variasi topografi dari datar hingga

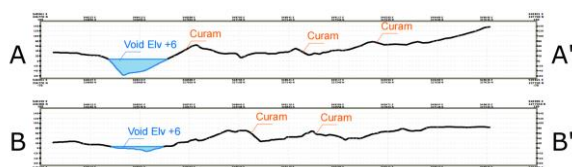
sangat curam, kondisi ini menjadi salah satu faktor dominan yang memperbesar risiko erosi, terutama bila dikombinasikan dengan tutupan lahan yang rendah. Ringkasan distribusi kelas lereng ditunjukkan pada Tabel 4. Peta kelas lereng dan potongan melintang ditampilkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Tabel 4. Nilai kemiringan lereng (LS)

Gradien %	Faktor LS	Topografi	Luas (Ha)	%
>8	0.4	Datar	268.91	56
8-15	1.4	Landai	59.50	12
15-25	3.1	Agak Curam	87.12	18
25-40	6.8	Curam	61.96	13
>40	9.5	Sangat Curam	1.83	0.4
Total			79.32	



Gambar 4 Peta kelas lereng area penelitian



Gambar 5. Detail cross section A & B

Sumber: Peneliti, 2025

Faktor CP (Cover and Management, Conservation Practice)

Faktor C (tutupan/pengelolaan vegetasi) dan P (praktik konservasi) menentukan kemampuan permukaan tanah menahan pukulan hujan serta mengurangi kecepatan aliran. Kondisi eksisting didominasi hutan sekunder (52%) dan hutan primer (25%) dengan nilai CP rendah, namun semak belukar (6%) dan area terbuka/lahan terbangun (3%) masih menyumbang erosi lokal signifikan.

Tabel 5. Nilai tutupan lahan & praktik konservasi (CP – kondisi saat ini)

Faktor CP	Keterangan	Luas (Ha)	%
-	Perairan/Void	29.83	6
0.001	Hutan Primer (Original)	120.64	25
0.005	Hutan Sekunder (Revegetasi)	248.79	52
0.010	Padang Rumput (Lap. Golf)	27.13	6
0.300	Semak Belukar	30.68	6
0.500	Kebun Campuran	6.76	1
1.000	Kantor, WMP, Jalan, Tegalan	15.49	3
Total		479.32	100

Potensi Erosi Eksisting

Berdasarkan hasil analisis faktor-faktor USLE yang didukung data spasial, diperoleh gambaran bahwa curah hujan (faktor R) di area pasca tambang Pit H3 memiliki nilai rata-rata tahunan sebesar 2.022 m·ton·cm/ha·tahun, dengan tren peningkatan pada hasil proyeksi hingga tahun 2030 menjadi 2.379 m·ton·cm/ha·tahun. Kenaikan ini mengindikasikan peningkatan energi kinetik hujan yang berpotensi memperbesar kemampuan hujan dalam melepaskan partikel tanah, terutama pada periode puncak hujan.

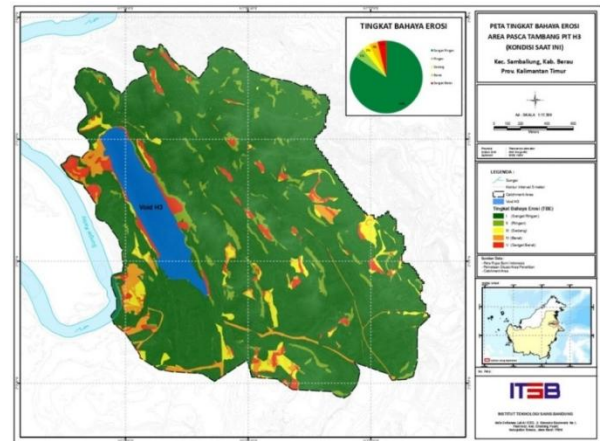
Dari sisi erodibilitas tanah (faktor K), jenis tanah Alluvial dengan nilai K = 0,47 teridentifikasi lebih rentan terhadap erosi dibandingkan tanah Latosol Merah Kuning dan Litosol yang memiliki nilai K = 0,36. Hal ini disebabkan oleh dominasi fraksi debu dan rendahnya kandungan bahan organik pada tanah Alluvial, yang membuatnya lebih mudah terdispersi ketika terkena aliran permukaan. Kondisi lapangan diperburuk oleh faktor LS (kemiringan lereng), di mana 13% area penelitian memiliki lereng curam (>25%) dan 0,4% sangat curam (>40%). Keadaan ini mempercepat aliran permukaan serta meningkatkan potensi pengangkutan partikel tanah. Selanjutnya, kondisi tutupan lahan dan praktik pengelolaan (faktor CP) turut berperan penting dalam menentukan tingkat bahaya erosi. Sebagian besar area telah memiliki tutupan vegetasi berupa hutan sekunder (52%) dan hutan primer (25%) dengan nilai CP rendah (0,001–0,005), yang berfungsi menekan potensi erosi. Namun demikian, keberadaan semak belukar (6%) dan area terbuka seperti jalan tambang, kantor, serta tegalan (3%) dengan nilai CP tinggi (0,3–1,0) masih menjadi kontributor signifikan terhadap erosi lokal. Kombinasi antara intensitas curah hujan tinggi, kerentanan tanah yang besar, lereng curam, serta tutupan lahan rendah menjadikan sektor-sektor tersebut prioritas utama dalam pengelolaan konservasi.

Tabel 7. Nilai Tingkat Bahaya Erosi (TBE) Kondisi Saat Ini

Kelas Bahaya Erosi (KBE)	Tingkat Bahaya Erosi (TBE)	Luas (Ha)	%
I	Sangat Ringan	404.18	84%
II	Ringan	21.94	5%
III	Sedang	16.49	3%
IV	Berat	18.35	4%
V	Sangat Berat	18.37	4%
Total		479.32	

Berdasarkan klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi (TBE), sebagian besar area pasca tambang termasuk kategori **Sangat Ringan (84%)**, namun terdapat pula area dengan kategori **Sangat Berat (4%)**, yang memerlukan intervensi rehabilitasi intensif. Distribusi KBE dan TBE saat ini dapat

dilihat pada tabel 7. Peta sebaran distribusi tingkat bahaya erosi saat ini dapat dilihat pada peta tematik pada gambar 9.



Gambar 9. Peta tingkat bahaya erosi kondisi saat ini

Tabel 9. Jumlah Tanah Tererosi Saat Ini

Nama Area	Nilai A	Luas (Ha)	Tanah Tererosi	Nama Area	Nilai A	Luas (Ha)	Tanah Tererosi
A_01	-	29.83	-	A_28	64.62	0.26	16.86
A_02	0.29	11.05	3.22	A_29	87.35	11.56	1,009.74
A_03	0.38	11.89	4.52	A_30	114.04	3.03	345.14
A_04	1.02	9.62	9.81	A_31	145.58	1.64	238.51
A_05	1.33	5.45	7.24	A_32	190.07	1.81	344.15
A_06	1.46	126.95	184.81	A_33	291.17	6.52	1,898.49
A_07	1.90	37.64	71.53	A_34	305.73	5.32	1,626.08
A_08	2.26	26.26	59.26	A_35	380.14	3.77	1,432.57
A_09	2.91	13.83	40.26	A_36	399.14	0.93	371.40
A_10	2.95	22.47	66.19	A_37	509.54	0.46	233.27
A_11	3.80	9.51	36.14	A_38	665.24	1.31	869.99
A_12	4.95	13.07	64.67	A_39	676.97	3.48	2,356.13
A_13	5.10	24.38	124.25	A_40	883.82	1.25	1,108.89
A_14	6.46	20.43	132.04	A_41	1,019.09	0.40	405.00
A_15	6.65	8.13	54.06	A_42	1,128.28	0.26	295.12
A_16	6.92	0.09	0.63	A_43	1,330.48	0.68	906.54
A_17	9.03	0.31	2.81	A_44	1,473.03	1.19	1,748.24
A_18	10.19	0.81	8.29	A_45	1,484.96	1.97	2,921.20
A_19	11.28	19.58	220.95	A_46	1,938.69	2.84	5,503.41
A_20	13.30	1.98	26.36	A_47	2,074.57	0.11	219.46
A_21	14.73	10.91	160.63	A_48	2,256.55	0.47	1,060.77
A_22	22.57	0.16	3.54	A_49	2,474.93	0.10	249.19
A_23	24.75	10.98	271.69	A_50	2,708.47	0.20	544.16
A_24	29.46	0.58	17.12	A_51	2,946.05	0.51	1,492.72
A_25	32.31	9.27	299.46	A_52	4,949.86	0.71	3,537.20
A_26	34.58	0.84	28.89	A_53	6,462.31	2.27	14,662.99
A_27	45.14	0.12	5.61	A_54	9,028.23	0.17	1,496.14
Total				479.32			

Skenario Konservasi Lahan

Pada skenario konservasi lanjutan, semak dikonversi menjadi hutan sekunder melalui penanaman sisipan, sedangkan tegalan/area terbuka pada lereng curam ditanami cover crop. Perubahan ini menurunkan nilai CP rata-rata dan

diharapkan mengurangi erosi jangka panjang. Distribusi CP' disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai tutupan lahan & praktik konservasi (CP' – skenario konservasi)

Faktor CP	Keterangan	Luas (Ha)	%
-	Perairan/Void	29.83	6%
0.001	Hutan Primer (Original)	120.64	25%
0.005	Hutan Sekunder (Revegetasi)	279.47	58%
0.010	Padang Rumput (Lap. Golf)	27.13	6%
0.300	Semak Belukar	3.86	1%
0.500	Kebun Campuran	6.76	1%
1.000	Kantor, WMP, Jalan, Tegalan	11.63	2%
Total		479.32	

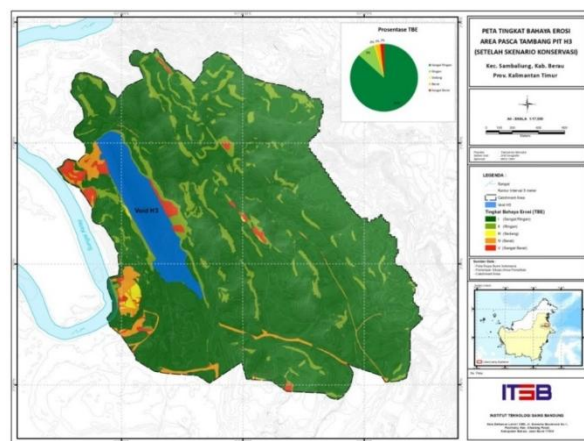
Sumber: Peneliti, 2025

Selanjutnya dilakukan Pendugaan erosi masa depan, dengan penerapan konservasi yang lebih intensif, seperti penanaman vegetasi, perbaikan struktur tanah, dan peningkatan sistem drainase, diharapkan erosi dapat berkurang dalam lima tahun ke depan, distribusi KBE dan TBE hasil skenario konservasi lanjutan dapat dilihat pada tabel 8.

Peta sebaran distribusi tingkat bahaya erosi hasil skenario konservasi lanjutan dapat dilihat pada peta tematik pada gambar 10. Hasil perhitungan laju erosi menunjukkan bahwa total tanah tererosi saat ini mencapai **48.797,32 ton/tahun**.

Tabel 8. Nilai Tingkat Bahaya Erosi (TBE) Setelah Skenario Konservasi

Kelas Bahaya Erosi (KBE)	Tingkat Bahaya Erosi (TBE)	Luas (Ha)	%
I	Sangat Ringan	415.60	87%
II	Ringan	41.20	9%
III	Sedang	2.48	1%
IV	Berat	11.53	2%
V	Sangat Berat	8.50	2%
Total		479.32	

**Gambar 10.** Peta tingkat bahaya erosi setelah skenario konservasi**Tabel 10.** Jumlah Tanah Tererosi Setelah Skenario Konservasi

Nama Area	Nilai A	Luas (Ha)	Tanah Tererosi	Nama Area	Nilai A	Luas (Ha)	Tanah Tererosi
A_01	-	29.83	-	A_27	53.11	0.33	17.27
A_02	0.34	11.05	3.79	A_28	76.03	0.26	19.83
A_03	0.45	11.89	5.32	A_29	102.77	0.44	45.27
A_04	1.20	9.62	11.54	A_30	134.18	0.14	19.29
A_05	1.57	5.45	8.52	A_31	171.29	1.64	280.62
A_06	1.71	138.50	237.24	A_32	223.63	1.81	404.91
A_07	2.24	40.66	90.93	A_33	342.58	6.08	2,082.76
A_08	2.65	26.26	69.73	A_34	359.70	0.02	5.42
A_09	3.43	13.83	47.36	A_35	447.25	3.62	1,621.20
A_10	3.47	22.47	77.87	A_36	469.61	-	0.92
A_11	4.47	9.51	42.52	A_37	599.51	0.46	274.45
A_12	5.82	13.07	76.09	A_38	782.69	1.31	1,023.59
A_13	6.00	29.70	178.07	A_39	796.49	0.34	272.59
A_14	7.60	20.43	155.35	A_40	1,039.86	0.10	108.12
A_15	7.83	9.06	70.88	A_41	1,199.02	0.38	458.44
A_16	8.14	0.09	0.75	A_42	1,327.48	0.26	347.23
A_17	10.62	0.31	3.30	A_43	1,565.38	0.68	1,063.52
A_18	11.99	0.81	9.75	A_44	1,733.10	1.19	2,056.90
A_19	13.27	23.06	306.17	A_45	1,747.14	0.55	963.55
A_20	15.65	1.98	31.02	A_46	2,280.99	2.26	5,165.27
A_21	17.33	12.16	210.74	A_47	2,654.96	0.13	339.42
A_22	26.55	0.16	4.17	A_48	2,911.90	0.10	293.18
A_23	29.12	12.94	376.94	A_49	3,466.20	0.40	1,395.86
A_24	34.66	0.58	20.15	A_50	5,823.79	0.16	949.89
A_25	38.02	12.11	460.25	A_51	7,603.28	-	34.28
A_26	40.68	0.94	38.29	A_52	10,622.24	0.17	1,760.30
Total		479.32	23,540.83				

Setelah penerapan skenario konservasi berupa revegetasi, penanaman sisipan, dan perbaikan sistem drainase, potensi erosi dapat ditekan secara signifikan hingga **23.540,83 ton/tahun**, atau berkurang sekitar **52%** (Tabel 10).

Temuan ini menegaskan bahwa konservasi vegetatif berperan penting dalam mengendalikan erosi di area pasca tambang Pit H3. Selain menurunkan beban sedimen, langkah konservasi juga berfungsi mempertahankan kualitas lingkungan perairan dengan mengurangi volume sedimen yang masuk ke Void Pit H3.

Hasil Analisis *Sediment Delivery Ratio* (SDR), *Sediment Yield* (SY), dan Umur Tampung Void

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE), total erosi pada area pasca tambang Pit H3 saat ini diperkirakan mencapai 48.797,32 ton/tahun. Penerapan skenario konservasi lanjutan berupa penanaman sisipan pada area semak serta penanaman cover crop pada lereng curam mampu menekan laju erosi hingga 23.540,83 ton/tahun, atau berkurang sekitar 52% dari kondisi eksisting. Namun demikian, tidak seluruh hasil erosi tersebut masuk ke badan air karena sebagian sedimen tertahan di lereng, dataran, maupun cekungan alami. Untuk menghitung besarnya sedimen yang benar-benar masuk ke saluran air, digunakan pendekatan *Sediment Delivery Ratio* (SDR), dengan persamaan Boyce (1975):

$$SDR = 0,42 \cdot A^{-0,3}$$

dengan A = luas *catchment* (km²).

Dengan luas *catchment* Pit H3 sebesar 4,79 km², nilai SDR yang diperoleh adalah sekitar 0,256 atau 25,6%. Artinya, hanya seperempat dari total hasil erosi yang benar-benar terangkut hingga ke badan air. Selanjutnya, nilai SDR dikalikan dengan total erosi (A_{total}) untuk memperoleh *Sediment Yield* (SY), yang merepresentasikan jumlah sedimen aktual yang masuk ke sistem perairan. Berdasarkan perhitungan, pada kondisi saat ini:

$$SY = SDR \times A_{total}$$

Kondisi saat ini:

$$SY_{now} = 0,256 \times 48.797,32 = 12.493,1 \text{ ton/tahun}$$

Skenario konservasi lanjutan:

$$SY_{cons} = 0,256 \times 23.540,83 = 6.033,5 \text{ ton/tahun}$$

Perbedaan nilai *Sediment Yield* ini berimplikasi langsung terhadap umur tampung Void Pit H3. Dengan kapasitas tampungan sebesar 4.800.000 m³ atau setara dengan 6.240.000 ton (asumsi massa jenis sedimen 1,3 ton/m³), maka umur tampung pada kondisi eksisting diperkirakan sekitar 500 tahun. Setelah penerapan konservasi lanjutan, umur

tampung meningkat dua kali lipat menjadi sekitar 1.034 tahun. Hal ini membuktikan bahwa penerapan konservasi vegetatif dan perbaikan sistem drainase tidak hanya efektif menekan erosi, tetapi juga berperan penting dalam memperpanjang umur infrastruktur penampungan, sekaligus menjaga keberlanjutan pengelolaan lahan pasca tambang.

Kegiatan Rehabilitasi Lahan

Penerapan konservasi vegetatif dan manajemen lahan berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) efektif menekan laju erosi pada area pasca tambang sekaligus memperpanjang umur tampung void. Upaya rehabilitasi, pelaksanaan program, dan monitoring revegetasi telah dilakukan untuk memastikan keberhasilan pengendalian erosi secara berkelanjutan. Di area penelitian ini telah dilakukan kegiatan rehabilitasi lahan, pelaksanaan program dan monitoring untuk memastikan kegiatan revegetasi berjalan optimal.

Rehabilitasi lahan merupakan tahapan krusial dalam pengelolaan lahan pasca tambang yang bertujuan memulihkan fungsi ekologis sekaligus meningkatkan produktivitas lahan. Pada area *Pit H3*, kegiatan konservasi telah dilakukan melalui proses revegetasi yang cukup berhasil yang dibuktikan dengan area tutupan lahan area penelitian sudah lebih dari 80%. Strategi ini efektif dalam menekan laju erosi, memperbaiki struktur tanah, serta meningkatkan kandungan bahan organik. Selain itu, infrastruktur konservasi seperti saluran drainase, check dam, dan sediment trap juga dibangun untuk mengendalikan aliran permukaan dan menekan sedimentasi. Pendekatan kombinasi antara teknik vegetatif dan struktural ini tidak hanya mengurangi tingkat bahaya erosi, tetapi juga membuka peluang pemanfaatan lahan untuk aktivitas produktif di masa mendatang.

Keberhasilan reklamasi sangat ditentukan oleh konsistensi program dan penerapan sistem monitoring yang terukur. Di area Pit H3 telah dilaksanakan beberapa program inovatif, seperti penggembalaan sapi di lahan revegetasi yang berkontribusi terhadap perbaikan struktur tanah melalui siklus nutrisi alami. Selain itu, pemanfaatan perairan bekas tambang melalui penebaran ikan dengan sistem keramba turut mendukung produktivitas lahan, sekaligus menjadi indikator biologis kualitas air karena kondisi ikan sensitif terhadap perubahan parameter.

Kegiatan pemeliharaan rutin meliputi pemupukan, perawatan sistem piringan dan jalur, serta penyulaman tanaman pada area dengan tingkat keberhasilan rendah. Monitoring revegetasi dilakukan secara ketat untuk memastikan

pertumbuhan vegetasi berlangsung optimal, menutup area terbuka secara menyeluruh, dan menjaga efektivitas konservasi dalam jangka panjang



Gambar 11 Pengukuran Ketinggian Pohon sebagai Bentuk Validasi Konservasi Lahan (Sumber: Peneliti, 2025)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data curah hujan, perhitungan *USLE*, serta evaluasi skenario konservasi pada area pasca tambang Pit H3, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian ini membuktikan bahwa metode stokastik Thomas Fiering mampu memproyeksikan curah hujan secara representatif dengan peningkatan nilai erosivitas (R) dari 2.022 menjadi 2.379 $m \cdot ton \cdot cm / ha \cdot tahun$ hingga 2030 (+18%), yang mengindikasikan potensi energi hujan lebih besar dalam melepaskan partikel tanah.
2. Perhitungan *USLE* menunjukkan tanah Alluvial ($K = 0,47$) lebih rentan erosi dibandingkan Latosol dan Litosol ($K = 0,36$), diperkuat oleh kondisi lereng curam (13%) dan sangat curam (0,4%), serta area terbuka dengan nilai CP tinggi. Total erosi saat ini mencapai 48.797,32 ton/tahun (rata-rata 101,81 ton/ha/tahun)
3. Penerapan konservasi lanjutan berupa penanaman sisipan dan cover crop menurunkan erosi hingga 23.540,83 ton/tahun (rata-rata 49,11 ton/ha/tahun) atau turun 52%.
4. Lebih lanjut, hasil perhitungan *Sediment Delivery Ratio* ($SDR \approx 0,256$) menunjukkan bahwa *sediment yield* (SY) pada kondisi eksisting sebesar 12.493,1 ton/tahun, berkurang menjadi 6.033,5 ton/tahun dengan konservasi. Jika dibandingkan dengan kapasitas tampung void Pit H3 sebesar 4.800.000 m^3 ($\approx 6.240.000$ ton), maka umur tampung diperkirakan sekitar 500 tahun pada kondisi saat ini, dan dapat meningkat hingga 1.034 tahun dengan

konservasi, menegaskan bahwa konservasi berkelanjutan penting dalam menjaga fungsi void sebagai penampung jangka panjang serta mendukung pengelolaan pasca tambang yang produktif.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdhi, R., Ismail, B., Heni, E. Derita, D., & Azham, Z. (2022). Pendugaan Erosi dengan Metode *USLE* (Universal Soil Loss Equation) Berbasis Data Spasial pada Areal Sebelum dan Sesudah Tambang di Kecamatan Palaran, Kota Samarinda. *Jurnal Agroteknologi dan Kehutanan Tropika*, 2(2), 215-238.
<https://doi.org/10.31293/jakt.v2i2.7909>
- Ananta, K. K., Widjajani, B. W., & Siswanto, S. (2025). Pemetaan Tingkat Bahaya Erosi Menggunakan Metode *USLE* di Desa Jatiarjo, Kecamatan Prigen, Kabupaten Pasuruan. *Agrocentrum*, 3(1), 29-40.
<https://agrocentrum.upnjatim.ac.id/index.php/agrocentrum/article/view/79>
- Asdak, C. (2002). *Hidrologi dan Pengolahan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
https://books.google.co.id/books?id=1c6pEA_AAQBAJ&hl=id&source=gbs_navlinks_s
- Arsyad, S. (2010). *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
<https://books.google.co.id/books?id=g52mtQEACAAJ>
- Chaidar, A. N., Soekarno, I., Wiyono, A., & Nugroho, J. (2017). Spatial analysis of erosion and land criticality of the upstream Citarum watershed. *Geomate Journal*, 13(37), 133-140.
<https://geomatejournal.com/geomate/article/view/1557>
- Fattah, R., & Hidayat, D. P. (2022). Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan terhadap Laju Erosi Menggunakan Metode *USLE* pada DAS Cisadane Hulu. *Journal of Infrastructure and Civil Engineering*, 2(3), 134-145.
<https://doi.org/10.35583/jice.v2i3.26>
- Hariati, F., Taqwa, F. M. L., Alimuddin, A., Salman, N., & Sulaeman, N. H. F. (2022). Simulasi Perubahan Tata Guna Lahan terhadap Laju Erosi Lahan menggunakan Metode *Universal Soil Loss Equation* (*USLE*) pada daerah Aliran Sungai (DAS) Ciseel. *Tameh*, 11(1), 52-61.
<https://doi.org/10.37598/tameh.v11i1.185>
- Herliawati, R., Awaliah, K., Nurrohman, A. W., & Ihsan, H. M. (2025). Pemanfaatan Metode *Universal Soil Loss Equation* untuk Penentuan

- Kawasan Konservasi Lahan di Sub Daerah Aliran Sungai Cihaur. *Jurnal Geografi, Lingkungan dan Kesehatan*, 3(2), 124-133.
<https://doi.org/10.30598/jglk.3.2.21530>
- Kardhana, H., Wijayarsi, W., & Rohmat, F. I. W. (2024). Assessing basin-wide soil erosion in the Citarum watershed using USLE method. *Results in Engineering*, 22, 102130.
<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102130>
- Lasaiba, M., Leuwol, F. S., Pinoa, W. S., Lasaiba, I., Riry, R. B., & Sandia, S. (2023). Integrasi SIG dengan USLE dalam Penilaian Erosi di DAS Wairutung. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 10(2), 191-201.
<https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.2.2>
- Lesmana, D. M. M., Cahyadi, T. A., Bargawa, W. S., Nursanto, E., & Winarno, E. (2021). Analisis Laju Erosi Menggunakan Metode USLE pada Studi Kasus Penambangan Sirtu di Boyolali. *Jurnal Sosial Teknologi*, 1(3), 200-214.
<https://doi.org/10.59188/jurnalsostech.v1i3.35>
- Pakasi, S., Rotinsulu, W., Rumagit, G., & Zebua, M. (2024). Analysis of Erosion Hazard Index (IBE) and Its Distribution in Kamenti Tulap Watershed-East Coast Minahasa with Spatial Technology. *International Journal on Advanced Science, Engineering & Information Technology*, 14(4).
<https://ijaseit.insightsociety.org/index.php/ijaseit/article/view/20174>
- Prahasta, E. (2001). *Konsep-konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*. Bandung: Informatika.
https://e-library.poltekbangsby.ac.id/index.php?p=show_detail&id=43
- Prasetyo, D. J., & Dibyosaputro, S. (2014). Kajian Kerawanan Longsor Lahan Menggunakan Metode *Analytical Hierarchy Process* dan Sistem Informasi Geografis di DAS Ijo Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Bumi Indonesia*, 3(3), 1-10.
<https://lib.geo.ugm.ac.id/ojs/index.php/jbi/article/view/629>
- Purnama, S. M., & Malolok, A. R. S. (2022). Pemetaan Bahaya Erosi di Area Lingkar Tambangan Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. *Geoid*, 18(1), 112-123.
<http://dx.doi.org/10.12962%2Fj24423998.v18i1.13525>
- Radjak, V. R., Rahim, Y., & Rahman, R. (2024). Erosion Prediction using Universal Soil Loss Equation (USLE) in Posigadan District, South Bolaang Mongondow Regency. *Celebes Agricultural*, 5(1), 42-51.
<https://doi.org/10.52045/jca.v5i1.864>
- Sa'pang, R. O., Balamba, S., & Sumampouw, J. E. R. (2015). Pengaruh Jenis Tanah terhadap Kestabilan Struktur Embankment di Daerah Reklamasi (Studi Kasus: Malalayang). *Sipil Statik*, 3(9), 1689-1699.
<https://doi.org/10.35793/jts.v13i62.8173>
- Sahido, W. P. M., Rahim, Y., Dude, S., & Rahman, R. (2025). Prediksi Erosi Menggunakan Metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*) dan Sistem Informasi Geografis (SIG) di Kecamatan Bolaang Uki Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan. *Agrotek: Jurnal Ilmiah Ilmu Pertanian*, 9(1), 92-103.
<https://doi.org/10.33096/agrotek.v9i1.715>
- Triatmodjo, B. (2016). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset. <https://search-lib.ums.ac.id/bib/63746>
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning* (No. 537). USDA, Science and Education Administration.
<https://hero.epa.gov/reference/624965/>
- Yuliawan, K., & Wilson, J. (2025). Pemanfaatan ArcGIS untuk Analisis Erosi Tanah di Kabupaten Nabire Menggunakan Metode USLE. *Informasi (Jurnal Informatika dan Sistem Informasi)*, 17(2), 214-230.
<https://doi.org/10.37424/informasi.v17i2.428>
- Yuningsih, S. M., Raharja, B., Sudono, I., & Fauzi, F. (2012). Estimasi Laju Erosi Pada Beberapa Daerah Tangkapan Air Waduk Di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Dengan Sistem Informasi Geografi. *Jurnal Sumber Daya Air*, 8(1), 39-52.
<https://doi.org/10.32679/jsda.v8i1.355>
- Yuwono, S. B., Tribiyono, B., & Banuwa, I. S. (2018). Estimasi Erosi dan Potensi Sedimen Bendungan Batutege di DAS Sekampung Hulu dengan Metode SDR. *Jurnal Hutan Tropis*, 6(2), 161-169.
<http://dx.doi.org/10.20527/jht.v6i2.5404>