

Pendugaan Hasil Sedimen Terhadap Penggunaan Lahan dengan Metode MUSLE di DAS Way Besai

Rifki Ananda Saputro¹, Dyah Indriana Kusumastuti², Endro Prasetyo Wahono³,

Ahmad Zakaria⁴, Ofik Taupik Purwadi⁵

^{1,2,3,4,5} Magister Teknik Sipil Universitas Lampung,

Jl. Prof. Dr. Soemantri Brodjonegoro No. 1 Bandar Lampung

Email: rifkiananda16@gmail.com¹, dyah.indriana@eng.unila.ac.id²,

epwahono@eng.unila.ac.id³, ahmad.zakaria@eng.unila.ac.id⁴,

ofik.taupik@eng.unila.ac.id⁵

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v14i2.1101>

(Received: 11 March 2024 / Revised: 30 June 2024 / Accepted: 24 July 2024)

Abstrak

Salah satu dampak dari erosi adalah penurunan produksi pangan secara global. Penyebab erosi yang terjadi di wilayah sungai adalah perubahan tutupan lahan dan iklim. Dengan melakukan penghijauan, meningkatkan vegetasi dan ekologi, dan perencanaan penggunaan lahan diindikasikan dapat mencegah erosi. Sedimentasi akibat erosi di sungai juga dapat mengurangi kapasitas sungai dalam menampung air. Metode MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*) merupakan pengembangan metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*) dalam pendugaan hasil sedimen. Tujuan dari penelitian adalah memperoleh pendugaan hasil sedimen terhadap penggunaan lahan menggunakan metode MUSLE pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Way Besai berbasis sistem informasi geografis. Hasil sedimen periode ulang dengan metode MUSLE untuk $Y_{(2 \text{ tahun})}$, $Y_{(5 \text{ tahun})}$, $Y_{(10 \text{ tahun})}$, $Y_{(25 \text{ tahun})}$, $Y_{(50 \text{ tahun})}$, $Y_{(100 \text{ tahun})}$, dan $Y_{(200 \text{ tahun})}$ masing-masing diperoleh sebesar 656.8765 ton, 782.4091 ton, 861.3319 ton, 957.7598 ton, 1027.6898 ton, 1096.4283 ton, dan 1164.6822 ton. Sedimentasi kala ulang menunjukkan tren peningkatan sejalan dengan bertambahnya lama periode yang berulang.

Kata kunci: *Sedimen, Erosi, MUSLE, DAS Way Besai*

Abstract

Erosion leads to a global decrease in food production. Land cover and climate changes are the main causes of erosion in river areas. To reduce erosion, we can implement greening projects, improve vegetation, and plan land use strategically. Sedimentation resulting from river erosion can diminish the water-holding capacity of rivers. MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*) method, which enhances USLE (*Universal Soil Loss Equation*), is used to predict sediment yield. The objective of research is to estimate sediment yield in relation to land use using MUSLE method within Way Besai Watershed, based on a geographic information system (GIS). Sediment yields for recurrence periods, including $Y_{(2 \text{ years})}$, $Y_{(5 \text{ years})}$, $Y_{(10 \text{ years})}$, $Y_{(25 \text{ years})}$, $Y_{(50 \text{ years})}$, $Y_{(100 \text{ years})}$, and $Y_{(200 \text{ years})}$, are calculated as 656.8765 tons, 782.4091 tons, 861.3319 tons, 957.7598 tons, 1027.6898 tons, 1096.4283 tons, and 1164.6822 tons, respectively. Sedimentation rates exhibit an upward trajectory in tandem with increasing recurrence periods.

Keywords: *Sedimentation, Erosion, MUSLE, Way Besai Watershed*

1. Latar Belakang

Salah satu dampak dari erosi adalah penurunan produksi pangan secara global (Sartori et al. 2019). Perubahan iklim yang ekstrim (Dash and Maity 2023) dan curah hujan tinggi dapat menyebabkan erosi, yang akhirnya dapat berdampak pada ekonomi (Li et al. 2021). Diperlukan perencanaan khusus (Medjani et al. 2023) seperti rehabilitasi lingkungan (Taye et al. 2023) untuk pengelolaan lahan yang memiliki potensi tererosi (Nauman et al. 2023). Penyebab erosi yang terjadi di wilayah sungai adalah perubahan tutupan lahan (Yusuf et al. 2021) dan iklim (Chuenchum et al. 2020). Dengan melakukan penghijauan, meningkatkan vegetasi dan ekologi, dan perencanaan penggunaan lahan diindikasikan dapat mencegah erosi (Tian et al. 2023).

Beberapa faktor seperti kurangnya informasi dan ketidakpedulian merupakan faktor yang dapat memperparah erosi (Igwe and Fukuoka 2010). Seharusnya dengan kebijakan yang sesuai dapat meningkatkan kondisi lingkungan, sosial, dan ekonomi (Joshi et al. 2023). Dengan manajemen lahan secara intensif dapat mengurangi erosi dari manajemen lahan yang sudah ada (Gashaw et al. 2020).

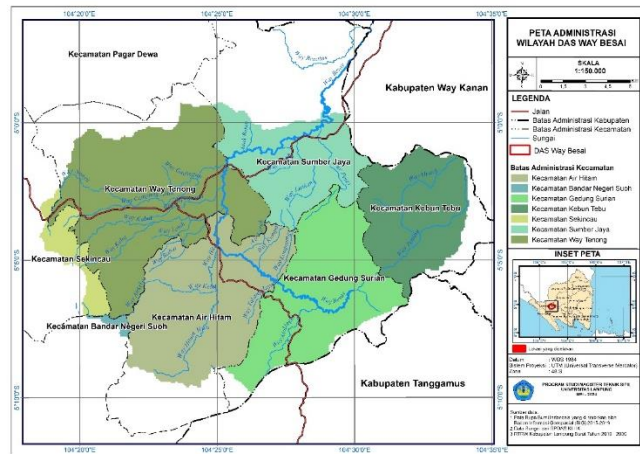
Erosi menyebabkan kerusakan pada tanah yang mengalami erosi dan pada lokasi tanah dimana terendapkan. Selain itu, sedimentasi akibat erosi di sungai (Rahmawati et al. 2018) juga dapat mengurangi kapasitas sungai dalam menampung air. Salah satu cara menentukan kekritisian daerah aliran sungai adalah dengan menganalisis hasil sedimen. Metode MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*) merupakan pengembangan metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*) dalam pendugaan hasil sedimen. Metode MUSLE tidak mempertimbangkan energi hujan sebagai pemicu langsung erosi, melainkan memperhitungkan faktor limpasan permukaan sebagai indikator yang lebih signifikan. Faktor limpasan permukaan mencerminkan jumlah energi yang diperlukan untuk menghancurkan dan mengangkut material sedimen secara efektif. Metode MUSLE dapat diterapkan sebagai model alternatif pertama untuk memperkirakan sedimen (Gwapedza et al. 2021). Karena kesederhanaan dan parameter yang minim (Kumar et al. 2015), metode ini dapat diterapkan secara luas di dunia.

Sistem Informasi Geografis (SIG) telah dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisis objek dan fenomena di mana letak geografisnya menjadi karakteristik penting yang harus dianalisis. SIG memungkinkan visualisasi dan eksplorasi geografis yang efisien dari data sekunder yang diperoleh (Giyanti et al. 2014).

Tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh pendugaan hasil sedimen terhadap penggunaan lahan menggunakan metode MUSLE pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Way Besai berbasis sistem informasi geografis.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan didaerah aliran sungai (DAS) way besai, secara geografis terletak antara 4°58' – 5°09' LS dan 104°18' – 104°33' BT. Batas administrasinya terletak di Kecamatan Sumber Jaya, Air Hitam, Way Tenong, Kebun Tebu, dan Gedung Surian, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Peta Administasi (Lokasi Penelitian)

2.1. Pengumpulan Data

Merupakan proses untuk memperoleh data yang dibutuhkan dalam penelitian, yakni pengumpulan data-data sekunder tersebut berupa data curah hujan harian selama 10 tahun (2013 – 2022) yang berpengaruh pada DAS Way Besai dari Balai Besai Wilayah Sungai Mesuji Sekampung, Peta topografi menggunakan data Digital Elevation Model (DEM) yg diperoleh dari USGS, Peta jenis tanah diperoleh dari Food and Agriculture Organization (FAO) Map Soil, dan Peta penggunaan lahan diperoleh dari interpretasi Citra Sentinel 2 tahun 2022.

2.2. Pendugaan Hasil Sedimen (MUSLE)

Model MUSLE adalah perkembangan dari persamaan USLE yang menggunakan limpasan permukaan sebagai faktor energi curah hujan yang ada dalam USLE. Metode USLE hanya memiliki kemampuan untuk menduga tingkat erosi rata-rata dalam jangka waktu Panjang dan tidak dapat menghitung deposisi sedimen. Di sisi lain, MUSLE memungkinkan estimasi deposisi sedimen karena model ini mengubah faktor energi hujan menjadi faktor energi aliran permukaan. Sehingga secara umum persamaan MUSLE dinyatakan sebagai berikut:

$$Y = R_w \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

$$R_w = 11.8 \times (Q \times Q_p)^{0.56} \quad (2)$$

Keterangan:

- Y = Hasil Sedimen (ton)
- Q = Total Volume Aliran Permukaan (m³)
- Q_p = Debit Puncak (m³/s)
- K = Faktor Erodibilitas Tanah
- LS = Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng
- C = Faktor Tutupan Lahan
- P = Faktor Upaya Konservasi Lahan
- R_w = Limpasan Permukaan

Penentuan intensitas hujan (I), debit puncak (Q_p), dan volume aliran (Q) dengan menggunakan persamaan:

$$T_C = \left(\frac{0.87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0.385} \quad (3)$$

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{T_C} \right)^{2/3} \quad (4)$$

$$Q_p = 0.278 \times C \times I \times A \quad (5)$$

$$Q = CH_{\max} \times C \quad (6)$$

Keterangan:

- T_C = Waktu Konsentrasi (jam)
- L = Panjang Sungai Utama (km)
- S = Kemiringan Sungai
- I = Intensitas Hujan (mm/jam)
- R_{24} = Hujan Maksimum periode ulang (mm)
- Q_p = Debit Puncak (m³/s)
- C = Koefisien Aliran
- A = Luas Daerah Pengaliran (km²)
- Q = Volume Aliran Permukaan (m³)
- CH_{\max} = Curah Hujan Maksimum Periode Ulang (mm/hari)

Penentuan faktor erodibilitas tanah (K), faktor kemiringan lereng (LS), dan faktor konservasi dan pengelolaan tanaman (CP) dilakukan dengan melakukan proses overlay antara DAS Way Besai dengan masing-masing peta jenis tanah, kemiringan lereng dan tutupan lahan menggunakan software GIS untuk mendapatkan nilai masing-masing faktor tersebut.

Metode Poligon Thiessen memperhitungkan bobot setiap stasiun hujan yang mencakup area di sekitarnya. Dalam sebuah daerah aliran sungai (DAS), diasumsikan bahwa curah hujan yang terjadi di suatu area adalah sama dengan curah hujan yang tercatat di stasiun terdekat. Metode ini sangat berguna ketika distribusi stasiun hujan di suatu daerah tidak merata. Secara matematis, rata-rata curah hujan ini dapat dirumuskan:

$$P = \frac{A_1 \cdot P_1 + A_2 \cdot P_2 + \dots + A_n \cdot P_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (7)$$

Keterangan:

- P = Hujan Rerata Kawasan
- P_1, P_2, \dots, P_n = Hujan pada stasiun hujan 1, 2, ..., n
- A_1, A_2, \dots, A_n = Luas daerah pengaruh stasiun hujan 1, 2, ..., n

Prosedur perhitungan dalam penentuan jenis distribusi digunakan jenis distribusi Log Pearson Tipe III. Untuk mendapatkan nilai curah hujan rencana kala ulang.

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \quad (8)$$

$$S \text{ Log } X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X})^2}{n - 1}} \quad (9)$$

$$C_s = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X})^3}{(n - 1) \times (n - 2) \times (S \text{ Log } X)^3} \quad (10)$$

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } X} + K_T \cdot S \cdot \text{Log } X \quad (11)$$

Keterangan:

- X_i = Nilai Curah Hujan Tiap Tahun
- $\text{Log } X_i$ = Log Nilai Curah Hujan
- $\overline{\text{Log } X}$ = Nilai Rata-Rata Log Nilai Curah Hujan
- n = Jumlah Data
- $S \text{ Log } X$ = Standar Deviasi
- C_s = Koefisien Skewness
- X_T = Curah Hujan Rencana Kala Ulang
- K_T = Faktor Frekuensi Kala Ulang

3. Hasil dan Pembahasan

Dari 4 Stasiun hujan (Pajar Bulan, Kebon Tebu, Air Itam, Bungin II) pada DAS Way Besai didapatkan curah hujan rerata menggunakan metode Poligon Thiessen Tabel 1.

Tabel 1 Curah Hujan Rerata Maksimum (Metode Poligon Thiessen)

Tahun	Curah Hujan Maksimum (mm)	Tahun	Curah Hujan Maksimum (mm)
2013	55.7157	2018	55.2206
2014	53.9444	2019	71.9838
2015	44.5879	2020	59.9415
2016	51.1187	2021	75.2353
2017	58.4568	2022	78.1158

Dengan curah hujan rerata pada Tabel 1 dilakukan penentuan jenis distribusi untuk mengetahui distribusi yang dipakai pada penelitian ini. Jenis distribusi digunakan adalah Log Pearson Tipe III. Selanjutnya menghitung nilai curah hujan maksimum menggunakan distribusi Log Pearson Tipe III untuk mendapatkan nilai curah hujan rencana kala ulang.

Menggunakan persamaan 8, 9, dan 10 didapatkan nilai $\overline{\text{Log } X}$, $S \text{ Log } X$, dan C_s secara berturut-turut adalah 1.7749, 0.0782, dan 0.2408. Selanjutnya berdasarkan Tabel Faktor Frekuensi (K_T), untuk Distribusi Log Pearson Tipe III nilai K_T pada masing-masing kala ulang adalah $K_2 = -0.040$, $K_5 = 0.828$, $K_{10} = 1.304$, $K_{25} = 1.831$, $K_{50} = 2.180$, $K_{100} = 2.501$, $K_{200} = 2.801$.

Dari nilai K yang telah di hitung, selanjutnya menghitung curah hujan rencana kala ulang menggunakan persamaan 11 didapatkan nilai $X_2 = 59.123$ mm, $X_5 = 69.114$ mm, $X_{10} = 75.307$ mm, $X_{25} = 82.791$ mm, $X_{50} = 88.167$ mm, $X_{100} = 93.414$ mm, $X_{200} = 98.590$ mm.

Setelah itu menghitung waktu konsentrasi dan intensitas hujan menggunakan persamaan 3 dan 4, hasil perhitungannya disajikan pada Tabel 2. Nilai koefisien aliran (C) DAS Way Besai sesuai dengan tata guna lahan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2 Intensitas Hujan dan Waktu Konsentrasi

Kala Ulang	Hujan Maksimum (mm)	Tc (jam)	I (mm/jam)
2	59.123	2.4484	11.2831
5	69.114	2.4484	13.1898
10	75.307	2.4484	14.3716
25	82.791	2.4484	15.7998
50	88.167	2.4484	16.8259
100	93.414	2.4484	17.8272
200	98.590	2.4484	18.8149

Tabel 3 Nilai Koefisien Aliran

Tutupan Lahan	Koefisien Aliran (C)	A = Luas (Ha)	C x A _i
Hutan Lahan Kering Primer	0.2	4189.5888	837.9178
Perkebunan/Kebun	0.4	25744.5014	10297.8006
Permukiman	0.4	1043.1970	417.2788
Rawa	0.15	4.3869	0.6580
Sawah	0.15	2907.2059	436.0809
Semak Belukar	0.07	3498.5269	244.8969
Tanah Kosong	0.2	38.0118	7.6024
Tegalan/Ladang	0.7	680.9927	476.6949
Total		38106.4114	12718.9302
Koefisien Aliran (C)			0.3338

Setelahnya mendapatkan nilai koefisien aliran (C) dan Intensitas Hujan (I) selanjutnya menghitung nilai debit puncak menggunakan persamaan 5, hasil perhitungannya disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Debit Puncak Periode Ulang

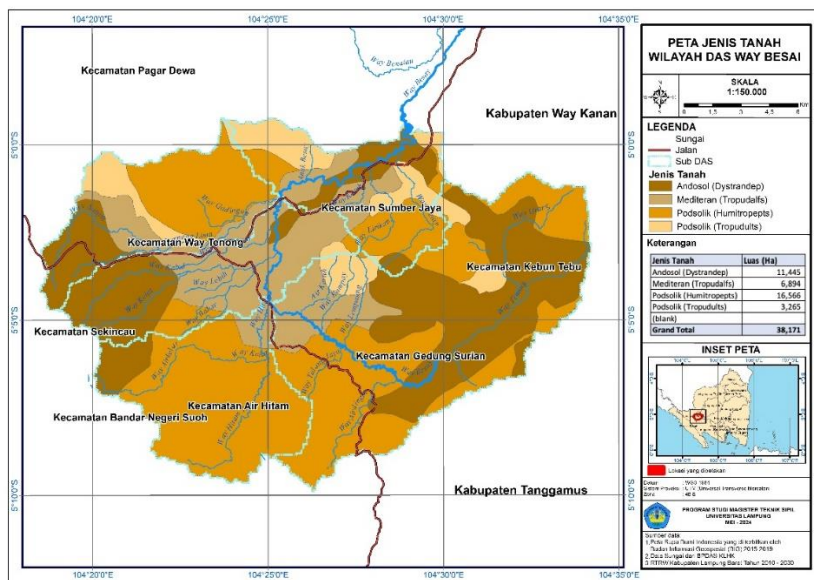
Kala Ulang	C	A (km ²)	I (mm/jam)	Qp (m ³ /s)
2	0.3338	381.064	11.2831	411.8690
5	0.3338	381.064	13.1898	481.4727
10	0.3338	381.064	14.3716	524.6103
25	0.3338	381.064	15.7998	576.7464
50	0.3338	381.064	16.8259	614.2017
100	0.3338	381.064	17.8272	650.7534
200	0.3338	381.064	18.8149	686.8060

Selanjutnya menghitung nilai volume aliran permukaan (Q) dan limpasan permukaan (Rw) kala ulang menggunakan persamaan 6 dan 2, perhitungan Q dan Rw kala ulang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Limpasan Permukaan (Rw) Kala Ulang

Kala Ulang	Qp (m ³ /s)	Q (m ³)	Rw = 11.8 x (Q x Qp) ^{0.56}
2	411.8690	19.7337	1825.8453
5	481.4727	23.0686	2174.7735
10	524.6103	25.1354	2394.1480
25	576.7464	27.6334	2662.1763
50	614.2017	29.4280	2856.5517
100	650.7534	31.1793	3047.6157
200	686.8060	32.9066	3237.3369

Faktor erodibilitas tanah menggambarkan seberapa rentan tanah terhadap erosi. Tanah dengan tekstur yang sangat halus akan lebih rentan terhadap erosi dibandingkan dengan yang berbutir kasar. Penilaian faktor erodibilitas tanah disesuaikan dengan jenis tanah yang ada di Indonesia (Arsyad 2010), (Vis 1987). Menggunakan data jenis tanah dari FAO Map Soil diperoleh, dilakukan pemrosesan dan analisis data menggunakan aplikasi ArcGIS. Hasil peta jenis tanah DAS Way Besai terlihat pada Gambar 2.

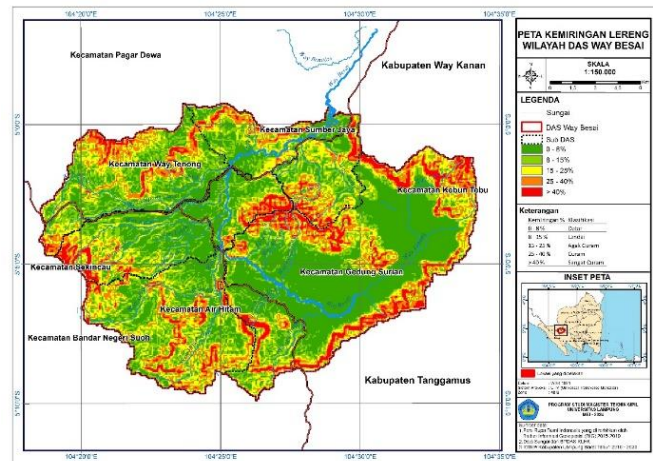


Gambar 2 Peta Jenis Tanah DAS Way Besai

Dari peta jenis tanah pada DAS Way Besai diperoleh 4 jenis tanah yaitu Andosol (Dystrandep), Mediteran (Tropudalfs), Podsolik (Humitropepts), dan Podsolik (Tropudults) dengan berbagai luasan yang tersebar. Setelah itu dilakukan perhitungan faktor erodibilitas tanah, dan disajikan pada Tabel 6.

Menggunakan ArcGIS, data kontur dari DEMNAS di klasifikasikan menjadi 5 kriteria kemiringan untuk menentukan besarnya luasan masing-masing kriteria (Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia 2009).

Gambar 3 merupakan peta kemiringan lereng DAS Way besai dan hasil dari masing-masing kriteria dapat dilihat pada Tabel 7 dengan nilai faktor kemiringan lereng (LS) pada setiap kemiringan.



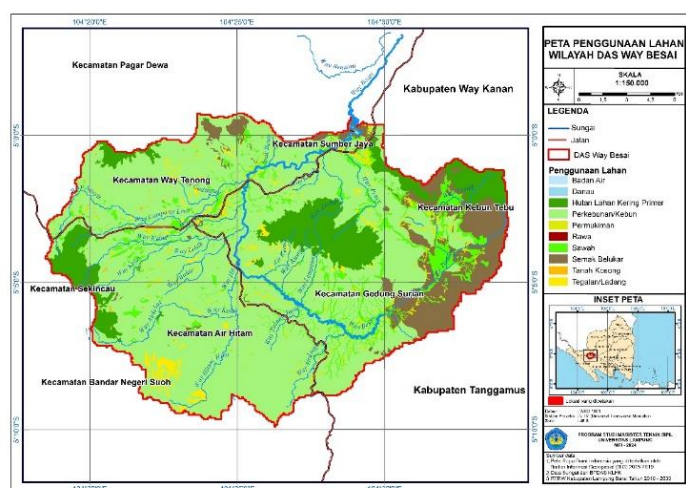
Gambar 3 Peta Kemiringan Lereng DAS Way Besai

Tabel 6 Nilai K dari Berbagai Jenis Tanah di DAS Way Besai

No	Jenis tanah	Luas (Ha)	K	$A_i \times K_i$
1	Andosol (Dystrandep)	11439.28	0.16	1830.285
2	Mediteran (TropudalFs)	6889.81	0.23	1584.657
3	Podsolik (Humitropepts)	16553.28	0.32	5297.049
4	Podsolik (Tropudults)	3265.42	0.16	522.467
Total		38106.41		9234.45
K			0.2421	

Tabel 7 Nilai Faktor LS pada DAS Way Besai

No	Kemiringan Lereng	Luas (Ha)	LS	Persentase (%)
1	0 - 8%	14722.37	0.4	38.59%
2	8 - 15%	8709.52	1.4	22.83%
3	15 - 25%	7210.00	3.1	18.90%
4	25 - 40%	4818.45	6.8	12.63%
5	> 40 %	2688.30	9.5	7.05%



Gambar 4 Peta Penggunaan Lahan DAS Way Besai

Pada peta penggunaan lahan DAS Way Besai (Gambar 4) sebagian besar penggunaan lahannya didominasi perkebunan. Faktor konservasi dan pengelolaan tanaman (CP) pada DAS Way Besai dikorelasikan dengan indeks CP (Asdak 2010), hasilnya disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Nilai CP dari Berbagai Penggunaan Lahan di DAS Way Besai

No	Tata Guna Lahan	Luas (Ha)	CP	$A_i \times CP_i$
1	Hutan Lahan Kering Primer	4189.59	0.05	209.479
2	Perkebunan/Kebun	25744.50	0.07	1802.115
3	Permukiman	1041.31	0.05	52.065
4	Rawa	4.39	0	0.000
5	Sawah	2907.21	0.01	29.072
6	Semak Belukar	3498.53	0.1	349.853
7	Tanah Kosong	38.01	1	38.012
8	Tegalan/Ladang	680.99	0.28	190.678
Total		38106.41		2671.27
CP			0.0701	

Setelah mengumpulkan semua nilai-nilai Limpasan Permukaan (Rw), faktor erodibilitas tanah (K), faktor kemiringan (LS), dan faktor konservasi dan pengelolaan tanaman (CP), hasil sedimen terhadap berbagai penggunaan lahan di DAS Way Besai dapat dihitung dengan menerapkan persamaan MUSLE. Contoh hasil sedimen kala ulang 2 tahun dapat ditemukan dalam Tabel 9.

Tabel 9 Hasil Sedimen Kala Ulang 2 tahun

Kemiringan Lereng	Rw	K	LS	CP	Y (ton)	Persentase
0 – 8 %	1825.84	0.2421	0.4	0.0701	12.39390	1.89%
8 – 15 %	1825.84	0.2421	1.4	0.0701	43.37864	6.60%
15 – 25 %	1825.84	0.2421	3.1	0.0701	96.05270	14.62%
25 – 40 %	1825.84	0.2421	6.8	0.0701	210.69624	32.08%
> 40 %	1825.84	0.2421	9.5	0.0701	294.35505	44.81%
Y _(2 tahun)					656.87653	100.00%

Menggunakan nilai limpasan permukaan kala ulang $Rw_{(2 \text{ tahun})}$, $Rw_{(5 \text{ tahun})}$, $Rw_{(10 \text{ tahun})}$, $Rw_{(25 \text{ tahun})}$, $Rw_{(50 \text{ tahun})}$, $Rw_{(100 \text{ tahun})}$, dan $Rw_{(200 \text{ tahun})}$, didapatkan hasil sedimen kala ulang dengan metode MUSLE untuk $Y_{(2 \text{ tahun})}$, $Y_{(5 \text{ tahun})}$, $Y_{(10 \text{ tahun})}$, $Y_{(25 \text{ tahun})}$, $Y_{(50 \text{ tahun})}$, $Y_{(100 \text{ tahun})}$, dan $Y_{(200 \text{ tahun})}$ masing-masing diperoleh sebesar 656.8765 ton, 782.4091 ton, 861.3319 ton, 957.7598 ton, 1027.6898 ton, 1096.4283 ton, dan 1164.6822 ton.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, menggunakan metode MUSLE diperoleh hasil sedimen terhadap penggunaan lahan di DAS Way Besai dengan periode ulang untuk $Y_{(2 \text{ tahun})}$, $Y_{(5 \text{ tahun})}$, $Y_{(10 \text{ tahun})}$,

$Y_{(25 \text{ tahun})}$, $Y_{(50 \text{ tahun})}$, $Y_{(100 \text{ tahun})}$, dan $Y_{(200 \text{ tahun})}$ masing-masing diperoleh sebesar 656.8765 ton, 782.4091 ton, 861.3319 ton, 957.7598 ton, 1027.6898 ton, 1096.4283 ton, dan 1164.6822 ton. Sedimentasi kala ulang menunjukkan tren peningkatan sejalan dengan bertambahnya lama periode yang berulang. Persentase hasil sedimen yang paling besar terdapat pada kemiringan lereng $> 40\%$ yaitu sekitar 44.81%.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis pendugaan hasil sedimen di DAS Way Besai, disarankan untuk mengimplementasikan perubahan dalam penggunaan lahan atau strategi konservasi lahan yang berfokus pada pengurangan sedimentasi. Selain itu, pembangunan checkdam di titik-titik tertentu di DAS juga dianggap sebagai langkah yang efektif untuk mengendalikan atau mengurangi volume sedimentasi yang terjadi.

Daftar Kepustakaan

- Arsyad, S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Asdak, C. 2010. *Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Chuenchum, P., Xu, M. and Tang, W. 2020. Predicted trends of soil erosion and sediment yield from future land use and climate change scenarios in the Lancang–Mekong River by using the modified RUSLE model. *International Soil and Water Conservation Research* 8(3), pp. 213–227. doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.06.006.
- Dash, S.S. and Maity, R. 2023. Effect of climate change on soil erosion indicates a dominance of rainfall over LULC changes. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 47(4), p. 101373. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101373.
- Gashaw, T., Worqlul, A.W., Dile, Y.T., Addisu, S., Bantider, A. and Zeleke, G. 2020. Evaluating potential impacts of land management practices on soil erosion in the Gilgel Abay watershed, upper Blue Nile basin. *Heliyon* 6(8), p. e04777. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04777.
- Giyanti, F.D., Riduan, R. and Aprilliantari, R. 2014. Identifikasi Tingkat Bahaya Erosi Berbasis Sistem Informasi Geografis (Sig) Pada Sub Daerah Aliran Sungai (Das) Riam Kanan. *Jurnal Purifikasi* 14(1), pp. 1–10. doi: 10.12962/j25983806.v14.i1.4.
- Gwapedza, D., Nyamela, N., Hughes, D.A., Slaughter, A.R., Mantel, S.K. and van der Waal, B. 2021. Prediction of sediment yield of the Inxu River catchment (South Africa) using the MUSLE. *International Soil and Water Conservation Research* 9(1), pp. 37–48. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.10.003.
- Igwe, O. and Fukuoka, H. 2010. Environmental and Socio-Economic Impact of Erosion in Nigeria, West Africa. *International Journal of Erosion Control Engineering* 3(1), pp. 102–109. doi: 10.13101/ijece.3.102.

- Joshi, P. et al. 2023. Himalayan watersheds in Nepal record high soil erosion rates estimated using the RUSLE model and experimental erosion plots. *Heliyon* 9(5), p. e15800. doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15800.
- Kumar, P.S., Praveen, T.V. and Prasad, M.A. 2015. Simulation of Sediment Yield Over Un-gauged Stations Using MUSLE and Fuzzy Model. *Aquatic Procedia* 4(4), pp. 1291–1298. http://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.168.
- Li, X., Cooper, J.R. and Plater, A.J. 2021. Quantifying erosion hazards and economic damage to critical infrastructure in river catchments: Impact of a warming climate. *Climate Risk Management* 32(July 2020), p. 100287. doi.org/10.1016/j.crm.2021.100287.
- Medjani, F., Derradji, T., Zahi, F., Djidel, M., Labar, S. and Bouchagoura, L. 2023. Assessment of soil erosion by Universal Soil Loss Equation model based on Geographic Information System data: a case study of the Mafragh watershed, north-eastern Algeria. *Scientific African* 21, p. e01782. doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01782.
- Nauman, T.W., Munson, S.M., Dhital, S., Webb, N.P. and Duniway, M.C. 2023. Synergistic soil, land use, and climate influences on wind erosion on the Colorado Plateau: Implications for management. *Science of the Total Environment* 893(June), p. 164605. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164605.
- Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia. 2009. *Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai*.
- Rahmawati, F., Winarno, D.J. and Kusumastuti, D.I. 2018. Analisis Sedimen Pada Daerah Aliran Sungai PLTA Way Besai Dengan Metode USLE (United Soil Loss Equation). *JRSDD* 6(4), pp. 457–470.
- Sartori, M., Philippidis, G., Ferrari, E., Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L. and Panagos, P. 2019. A linkage between the biophysical and the economic: Assessing the global market impacts of soil erosion. *Land Use Policy* 86(12), pp. 299–312. doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.014.
- Taye, G., Teklesilassie, T., Teka, D. and Kassa, H. 2023. Assessment of soil erosion hazard and its relation to land use land cover changes: Case study from alage watershed, central Rift Valley of Ethiopia. *Heliyon* 9(8), p. e18648. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18648.
- Tian, Q., Zhang, X., He, J., Yi, H., He, L. and Yang, Q. 2023. Potential risk of soil erosion on the Tibetan Plateau during 1990 – 2020 : Impact of climate change and human activities. *Ecological Indicators* 154(11), p. 110669. doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110669.
- Vis, M. 1987. *A Procedure for The Analysis of Soil Erosion and Related Problems in Water and Land Resources Management Studies*.
- Yusuf, A., Kusumastuti, D.I. and Wahono, E.P. 2021. Pengaruh Tutupan Lahan terhadap Base Flow Index DAS Way Seputih Provinsi Lampung. *Siklus : Jurnal Teknik Sipil* 7(2), pp. 146–159. doi: 10.31849/siklus.v7i2.7323.