

EROSI LAHAN SUB DAS MONGIILLO DAN PREDIKSI SEDIMENTASI WADUK BULANGO ULU PROVINSI GORONTALO

Zuhriyah Raihanah Usu*, Rawiyah Husnan, dan Barry Yusuf Labdul
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo
zuhriyahraihanahusu@gmail.com

Pemasukan: 8 September 2024 Perbaikan: 15 Mei 2025 Diterima: 23 Juni 2025

Intisari

Sub DAS Mongiilo sebagai daerah tangkapan air hujan untuk Waduk Bulango Ulu rentan terhadap permasalahan erosi dan sedimentasi. Erosi yang larut dalam sungai akan mengendap menjadi sedimen kemudian terbawa hingga ke waduk. Endapan sedimen pada waduk yang melampaui batas kapasitas akan menyebabkan volume efektif waduk berkurang dan membuat kerusakan sumber air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju erosi, tingkat bahaya erosi dan tingkat kekritisan lahan pada Sub DAS Mongiilo serta laju sedimentasi menuju Waduk Bulango Ulu. Data sekunder yang digunakan berupa data curah hujan (R), peta jenis tanah (K), peta kemiringan lereng (LS) dan peta pengelolaan tanaman dan konservasi tanah (CP). Pada penelitian ini perhitungan erosi dilakukan dengan metode USLE dan MUSLE dengan bantuan perangkat ArcGIS 10.4 serta perhitungan SDR untuk mengetahui laju sedimentasi ke waduk. Dari hasil penelitian, pada metode USLE besar laju erosi sebesar 4.325.766,83 ton/tahun dan nilai SDR sebesar 0,1574 dengan laju sedimentasi sebesar 680.898,22 ton/tahun. Untuk metode MUSLE didapatkan laju erosi sama dengan laju sedimentasi sebesar 6.574.766,83 ton/tahun. Sehingga berdasarkan hasil analisis, tingkat bahaya erosi pada Sub DAS Mongiilo adalah Sedang dengan kondisi lahan Semi Kritis.

Kata Kunci: Erosi, Sedimentasi, USLE, MUSLE, Mongiilo

Latar Belakang

Erosi merupakan peristiwa hilangnya bagian tanah akibat dari pengaruh lingkungan sekitarnya. Umumnya kehilangan bagian tanah akibat erosi dapat disebabkan oleh angin atau air. Hasil erosi yang larut dalam air kemudian akan mengendap pada area sungai tertentu menjadi sedimen. Masuk dan mengendapnya sedimen di dalam badan air secara berlebihan akan menyebabkan pendangkalan badan air yang mengakibatkan hilangnya atau berkurangnya fungsi sumber air tersebut (Arsyad, 2010).

Bendungan Bulango Ulu adalah bendungan pertama yang dibangun di Provinsi Gorontalo. Bendungan Bulango Ulu terletak di Desa Tulo'a, Kecamatan Bulango Utara, Desa Bulango Ulu, Kabupaten Bone Bolango. Lokasi bendungan berada di Daerah Aliran Sungai (DAS) Bolango, yaitu bagian hulu DAS yang berada di Sub

DAS Mongiilo. DAS Bolango bagian hulu di dominasi oleh dataran berbukit dan bergelombang.

Sub DAS Mongiilo yang merupakan bagian hulu DAS Bolango mencakup kurang lebih 50% dari luas total DAS Bolango. Luas Sub DAS Mongiilo yang mengalir bendungan yaitu 243,98 km². Degradasi sungai pada bagian hulu akan menyebabkan pendangkalan pada aliran sungai di hilir. Sedimen yang terendap dalam aliran sungai kemudian akan menuju waduk yang akan mengakibatkan sedimentasi pada waduk yang pada akhirnya mempercepat laju sedimentasi.

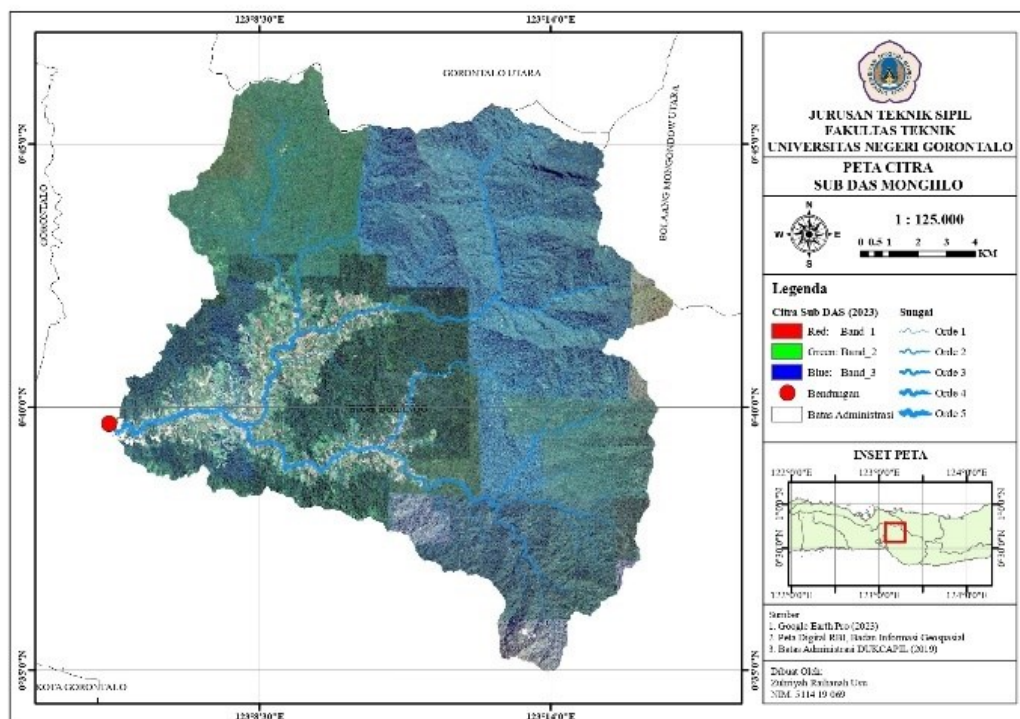
Dinamika perubahan yang terjadi dalam suatu daerah aliran sungai, seperti perubahan tata guna lahan, peningkatan curah hujan, serta intensifikasi aktivitas manusia, merupakan faktor-faktor utama yang mempercepat laju erosi dan sedimentasi. Kondisi tersebut menjadikan DAS sebagai sistem yang rentan terhadap degradasi apabila tidak dikelola secara berkelanjutan. Perencanaan Bendungan Bulango Ulu dilaksanakan pada tahun 2017 dengan memanfaatkan data dan kondisi eksisting wilayah saat itu. Namun, seiring berjalannya waktu, data tersebut tidak lagi merepresentasikan kondisi aktual di lapangan, khususnya dalam konteks penilaian laju erosi dan tingkat degradasi lahan yang semakin kompleks.

Pemanfaatan model Universal Soil Loss Equation (USLE) dan Modified USLE (MUSLE) telah menjadi pendekatan umum dalam menganalisis laju erosi, sementara estimasi laju sedimentasi lebih lanjut dilakukan dengan menerapkan nilai Sediment Delivery Ratio (SDR). Hasil dari analisis tersebut menjadi dasar dalam menentukan tingkat bahaya erosi serta mengklasifikasikan tingkat kekritisn lahan. Studi oleh (Natalia et al., 2022) dalam penelitiannya di DAS Baturusa, memanfaatkan metode USLE berbasis data eksisting terbaru untuk menilai tingkat bahaya erosi dan menyusun arahan konservasi lahan yang relevan dengan kondisi aktual wilayah studi. Sementara itu, (Aji Saputra & Abdurrosyid, 2022) melakukan pendekatan komparatif antara metode USLE dan MUSLE dalam menganalisis erosi lahan dan laju sedimentasi di Daerah Tangkapan Air Waduk Cengklik, yang menunjukkan pentingnya mempertimbangkan aspek hidrologi, seperti limpasan permukaan, dalam estimasi erosi. Kedua studi tersebut menggarisbawahi urgensi pemilihan metode yang tepat dan kontekstual dalam pengelolaan DAS secara berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi laju erosi, laju sedimentasi, tingkat bahaya erosi, dan kekritisn lahan di Sub DAS Mongiilo, yang menuju Waduk Bulango Ulu berdasarkan kondisi eksisting terbaru dengan menggunakan dua metode yaitu USLE dan MUSLE. Metode analisis dilakukan dengan pendekatan Sistem Informasi Geografis (SIG), menggunakan perangkat lunak *ArcGIS* sebagai alat utama dalam pengolahan, integrasi, dan analisis data spasial dengan analisis tumpang susun (*overlay*), penghitungan spasial parameter erosi, serta penyusunan peta sebaran laju erosi dan sedimentasi.

Metodologi Studi

Penelitian akan dilakukan pada Sub DAS Mongiilo yang menuju Waduk Bulango Ulu seluas 243,98 km². Sub DAS Mongiilo mencakup wilayah Kecamatan Bulango Ulu, Kecamatan Tapa, Kecamatan Bulango Utara dan Kecamatan Bulango Selatan yang terletak di Kabupaten Bone Bolango. Waduk Bulango Ulu sendiri secara geografis terletak pada 0°39'38.39"N 123°05'42.71"E. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, termasuk data curah hujan, data jenis tanah, data kemiringan lereng, dan peta tata guna lahan. Setelah data terkumpul, langkah-langkah analisis dilakukan sebagai berikut

1. Analisis curah hujan, termasuk perhitungan curah hujan rata-rata, curah hujan rancangan, dan debit aliran puncak.
2. Perhitungan nilai faktor erosivitas hujan (R) untuk metode USLE dan faktor limpasan permukaan (Rw) untuk metode MUSLE.
3. Pengolahan data DEM (*Digital Elevation Model*) dengan resolusi spasial 8,32 meter diperoleh dari *Ina-Geoportal* (Badan Informasi Geospasial) dan digunakan untuk menghasilkan peta kemiringan lereng, dan menentukan nilai faktor LS berdasarkan peta tersebut.
4. Pengelolaan data peta jenis tanah, dan menentukan nilai faktor K berdasarkan jenis tanah.

5. Pengelolaan data peta tata guna lahan, dan menentukan nilai faktor CP berdasarkan pengelolaan tanaman dan konservasi tanah.
6. Menentukan tingkat bahaya erosi dan kekritisan lahan dengan menggabungkan peta-peta menggunakan *overlay* di dalam perangkat lunak *ArcGIS*.

Perhitungan tingkat erosi dilakukan melalui dua metode, yaitu USLE (*Universal Soil Loss Equation*) dan MUSLE (*Modified Soil Loss Equation*). Metode USLE diestimasi menggunakan Persamaan 1 (Asdak, 2022).

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

Besarnya kehilangan tanah yang tererosi (ton/ha/tahun), dihitung menggunakan faktor-faktor berikut: R sebagai faktor erosivitas hujan, K sebagai faktor erodibilitas tanah, LS sebagai faktor panjang dan kemiringan lereng, C sebagai faktor pengelolaan tanaman, dan P sebagai faktor konservasi tanah. Faktor erosivitas hujan sendiri dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 yang dikembangkan oleh Lenvain. (Asdak, 2022).

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

Dalam menghitung laju sedimentasi menggunakan metode USLE, diperlukan informasi mengenai SDR (*Sediment Delivery Ratio*). SDR adalah perbandingan antara sedimen yang mencapai badan air dengan total erosi yang terjadi di sumber sedimen tersebut. Nilai SDR dapat dihitung menggunakan Persamaan 3 oleh DPU Dirjen Pengairan, 1999 dalam (Putri et al., 2022). Setelah nilai SDR didapatkan kemudian dikalikan dengan total erosi lahan *A* agar mendapatkan laju sedimentasi.

$$SDR = S \frac{(1-0,8683(A^{-0,2018}))}{2(S+50n)} + 0,8683(A^{-0,2018}) \quad (3)$$

$$Sy = SDR.A$$

Dalam konteks ini, *Sy* merupakan Laju Sedimentasi (ton/tahun), *A* mencerminkan ukuran wilayah DAS (hektar), *S* mengacu pada tingkat kemiringan lereng rerata dalam bentuk persentase, dan *n* adalah nilai koefisien kekasaran manning.

Pada metode MUSLE nilai faktor erosivitas hujan digantikan dengan faktor limpasan permukaan. Faktor limpasan mewakili energi yang digunakan sebagai penghancuran dan pengangkutan sedimen sehingga laju sedimentasi = total erosi lahan. Untuk mencari nilai faktor limpasan permukaan digunakan Persamaan 4 (Utomo, 1994).

$$Rw = 9,05 (Vo. Qp)^{0,56} \quad (4)$$

Rw digunakan sebagai faktor untuk menggambarkan limpasan permukaan, *Vo* mengacu pada volume aliran permukaan, dan *Qp* merupakan debit aliran maksimum (puncak).

Hasil Studi dan Pembahasan

Faktor Erosivitas Hujan Metode USLE (R)

Data curah hujan yang digunakan untuk perhitungan faktor erosivitas hujan berasal dari stasiun penakar hujan Dulamayo, Boidu, dan Longalo. Data ini mencakup periode dari tahun 2007 hingga 2021. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa nilai rerata faktor erosivitas hujan di lokasi penelitian adalah 1134,16 cm/ha.

Tabel 1. Faktor Erosivitas Hujan

Tahun	Faktor R	Tahun	Faktor R	Tahun	Faktor R
2007	1079,89	2012	1295,03	2017	992,81
2008	1488,41	2013	1226,55	2018	1006,84
2009	1138,67	2014	844,12	2019	532,46
2010	2048,58	2015	769,76	2020	1205,32
2011	1073,96	2016	1074,85	2021	1235,15
Total				17012,40	
Rerata				1134,16	

Faktor Limpasan Permukaan Metode MUSLE (Rw)

Dalam perhitungan limpasan permukaan, diperlukan nilai debit puncak dan volume limpasan. Luas DAS > 100km² sehingga untuk mencari debit puncak dapat digunakan metode Melchior (Hadisusanto, 2010). Untuk nilai debit puncak dibutuhkan nilai volume limpasan permukaan yang dalam hal ini digunakan model Morgan-Morgan Finney (Utomo, 1994). Berikut hasil perhitungan faktor erosivitas limpasan permukaan:

$$Rw = 9,05 (188,85 \cdot 62,37)^{0,56}$$

$$= 1723,76 \text{ m}^2/\text{jam}$$

Faktor Erodibilitas Tanah

Faktor-faktor seperti struktur tanah, kekuatan agregat, kapabilitas infiltrasi, dan komposisi organik serta kimia adalah aspek yang signifikan dalam memengaruhi erodibilitas tanah. Data jenis tanah Sub DAS Mongiilo diperoleh dari BPDAS Bone Bolango yaitu memiliki jenis tiga jenis tanah yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Faktor Erodibilitas Tanah

Jenis Tanah	Sub DAS Mongiilo		Nilai K
	Luas (ha)	Persentase (%)	
Litosol	15.582,90	63,87	0,29
Podsolik	8.611,46	35,30	0,158
Andosol	203,63	0,83	0,278
Jumlah	24.398,00	100,00	

Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng

Metode konvensional dalam menghitung panjang lereng (L) diperoleh dari pengukuran lapangan, tetapi metode ini jarang dan sangat sulit dilakukan untuk daerah yang luas. Kurangnya pengukuran terperinci panjang lereng lapangan,

membuat peneliti menggunakan faktor L secara konstan atau berdasarkan kemiringan lereng. Kemiringan lereng berasal dari hasil analisa DEM dengan bantuan ArcGIS. Hasil pemodelan kemiringan lereng ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Faktor Kemiringan Lereng

Kemiringan Lereng		Sub DAS Mongiilo		
Kelas	Keterangan	Luas (ha)	Persentase (%)	Nilai LS
0-5%	Datar	274,07	1,12	0,35
6-15%	Landai	1.516,26	6,21	1,60
16-35%	Agak Curam	5.376,33	22,04	4,60
36-50%	Curam	5.430,45	22,26	7,90
>50%	Sangat Curam	11.800,90	48,37	9,00
Jumlah		24.398,00	100,00	

Faktor Pengelolaan Tanaman dan Konservasi Tanah

Faktor C mencerminkan pengaruh vegetasi, pengelolaan permukaan tanah, dan manajemen lahan terhadap proses erosi. Sementara itu, faktor P adalah perbandingan tingkat erosi rata-rata di lahan yang menerapkan tindakan konservasi tertentu dengan tingkat erosi rata-rata di lahan yang tidak menerapkan tindakan konservasi, dengan asumsi bahwa faktor-faktor penyebab erosi lainnya tetap tidak berubah. Data tata guna lahan Sub DAS Mongiilo diperoleh dari BPKH Wilayah XV Gorontalo. Hasil penentuan Nilai CP ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Faktor Pengelolaan Tanaman dan Konservasi Tanah

Tata Guna Lahan	Sub DAS Mongiilo		
	Luas (Ha)	Persentase (%)	Nilai CP
Semak/Belukar	647,60	2,65	0,30
Permukiman	48,93	0,20	0,60
Tubuh Air	1.775,12	7,28	0,001
Pertanian Lahan Kering	17,48	0,07	0,75
Pertanian Lahan Kering campur semak	1.555,47	6,38	0,75
Hutan Lahan Kering Primer	10.606,87	43,47	0,03
Hutan Lahan Kering Sekunder	9.746,53	39,95	0,03
Jumlah	24.398,00	100,00	0,35

Analisis Laju Erosi

Penyebab alamiah dan aktivitas manusia merupakan faktor utama terjadinya erosi. Pengikisan tanah lapisan atas dari metode pertanian yang melanggar prinsip-prinsip konservasi tanah dan dari kegiatan pembangunan yang memperburuk keadaan fisik tanah, di sisi lain, menghasilkan erosi yang disebabkan oleh manusia. Perhitungan erosi metode USLE dan MUSLE dilakukan dengan menggunakan ArcGIS dengan menggabungkan masing-masing peta faktor penentu erosi lahan. Rekapitulasi hasil analisis laju erosi metode USLE dan MUSLE ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Laju Erosi

No	Metode	Total Erosi (ton/tahun)	Laju Erosi	
			(m ³ /tahun)	(mm/tahun)
1	USLE	4.325.766,83	2.983.287,47	12,23
2	MUSLE	6.574.543,90	4.534,168,21	18,58

Analisis Laju Sedimentasi

Laju sedimentasi merupakan banyaknya sedimen dari sungai yang mengalir ke waduk, berada di hilir sungai dalam jangka waktu tertentu. Metode perhitungan laju sedimentasi menggunakan SDR hanya untuk laju erosi Metode USLE karena faktor limpasan pada Metode MUSLE menghasilkan energi yang digunakan dalam proses pelepasan dan pengangkutan sedimen sehingga laju sedimentasi MUSLE = A = total erosi lahan. Berikut hasil perhitungan SDR untuk Metode USLE:

$$SDR = 0,5 \frac{(1 - 0,8683(24.398^{-0,2018}))}{2(0,5 + 50(0,09))} + 0,8683(24.398^{-0,2018})$$

$$= 0,1574$$

Nilai SDR dipengaruhi oleh kemiringan lereng, luas DAS, dan kekasaran permukaan yang secara integratif merepresentasikan efisiensi transportasi sedimen menuju outlet DAS. Berdasarkan hasil perhitungan SDR kemudian nilai tersebut akan dikalikan dengan Total Erosi Metode USLE sehingga menghasilkan laju sedimentasi sebagai berikut:

$$Sy = 0,1574 \times 4.325.766,83$$

$$= 680.898,22 \text{ ton/tahun}$$

Nilai Laju Sedimentasi yang didapatkan sebesar 680.898,22 ton/tahun kemudian dibandingkan dengan Data Perencanaan Proyek yaitu 491.730,18 ton/tahun dimana memiliki selisih 189.168,04 ton/tahun atau rasio perbedaan sebesar 1,38%.

Tingkat Bahaya Erosi dan Tingkat Kekritisan Lahan

Tingkat bahaya erosi merupakan angka yang digunakan untuk mengetahui besar laju erosi yang akan terjadi dan sebagai pembanding terhadap erosi yang diperbolehkan pada wilayah tersebut. Tingkat kekritisan lahan memiliki hubungan langsung dengan tingkat bahaya erosi. Hasil klasifikasi tingkat bahaya erosi dan tingkat kekritisan lahan ditunjukkan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Tingkat Bahaya Erosi dan Kekritisan Lahan Metode USLE

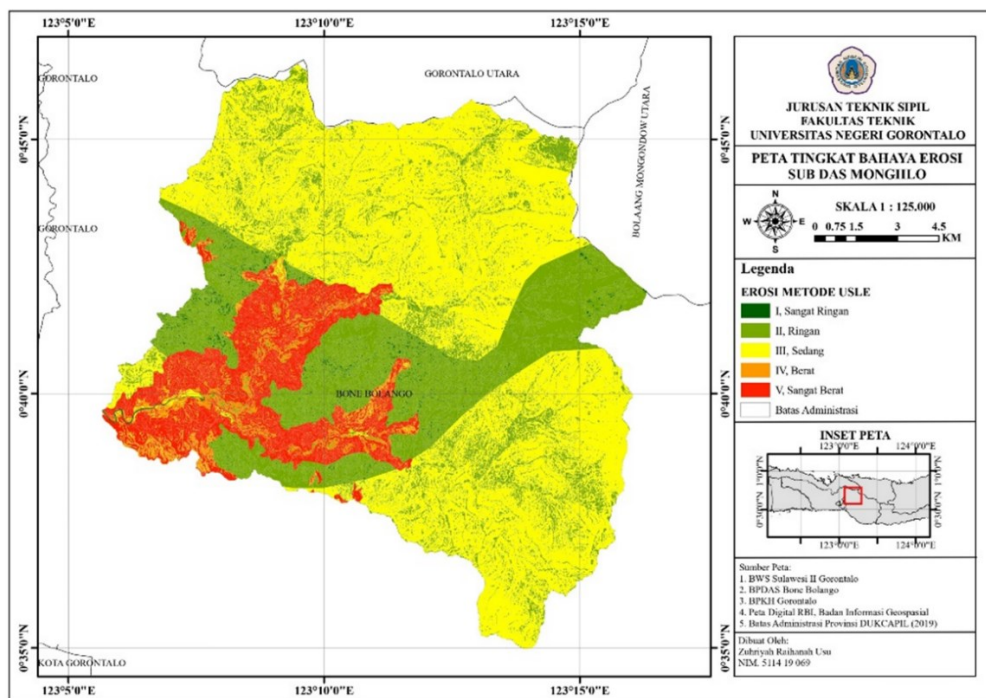
No	Kehilangan Tanah (ton/ha/tahun)	KBE	TBE	TKL	Luas (ha)	Persentase (%)
1	< 15	I	Sangat Ringan	Potensial Kritis	399,43	1,64
2	15-60	II	Ringan	Semi Kritis	8213,44	33,66
3	60-180	III	Sedang	Semi Kritis	11992,38	49,15
4	180-480	IV	Berat	Kritis	963,11	3,95
5	> 480	V	Sangat Berat	Sangat Kritis	2829,63	11,60
Jumlah					24398,00	100,00

Tabel 7. Tingkat Bahaya Erosi dan Kekritisan Lahan Metode MUSLE

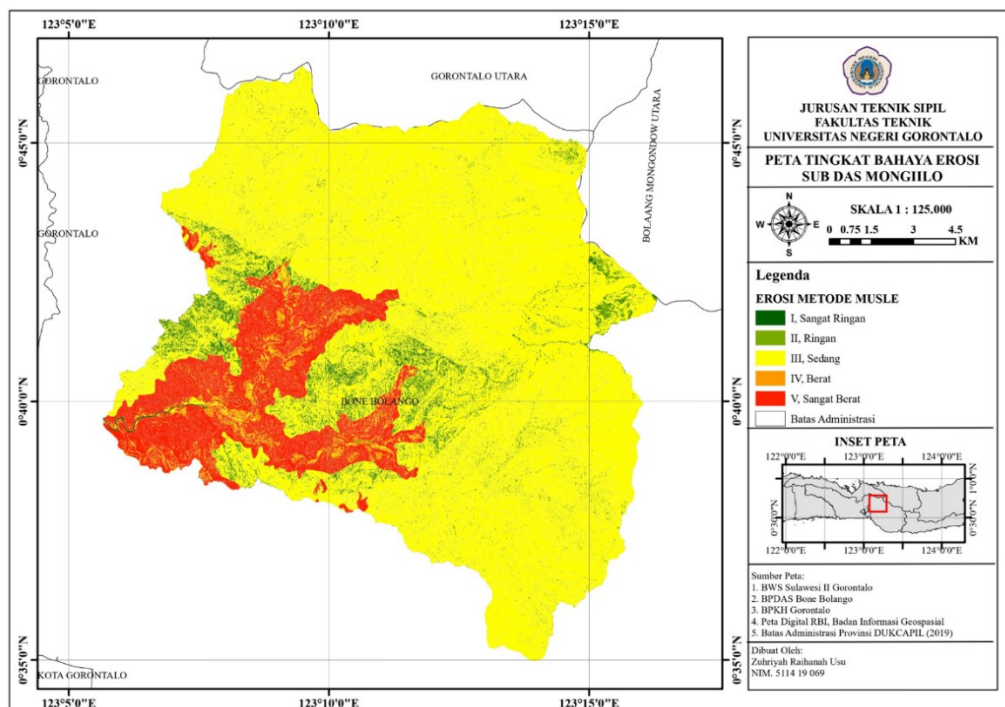
No	Kehilangan Tanah (ton/ha/tahun)	KBE	TBE	TKL	Luas (ha)	Persentase (%)
1	< 15	I	Sangat Ringan	Potensial Kritis	399,43	1,64
2	15-60	II	Ringan	Semi Kritis	1811,12	7,42
3	60-180	III	Sedang	Semi Kritis	18374,53	75,31
4	180-480	IV	Berat	Kritis	703,84	2,88
5	> 480	V	Sangat Berat	Sangat Kritis	3109,07	12,74
Jumlah					24398,00	100,00

Dengan menggunakan bantuan program ArcGIS, setiap unit lahan menghasilkan jumlah erosi yang beragam, menyebabkan variasi dalam luas lahan antara metode USLE dan MUSLE. Variasi ini dipengaruhi oleh faktor erosivitas curah hujan (R) dan faktor limpasan permukaan (Rw), sementara faktor lainnya seperti erodibilitas tanah (K), panjang dan kemiringan lereng (LS), serta faktor pengelolaan tanaman dan konservasi tanah (CP) tetap sama untuk keduanya.

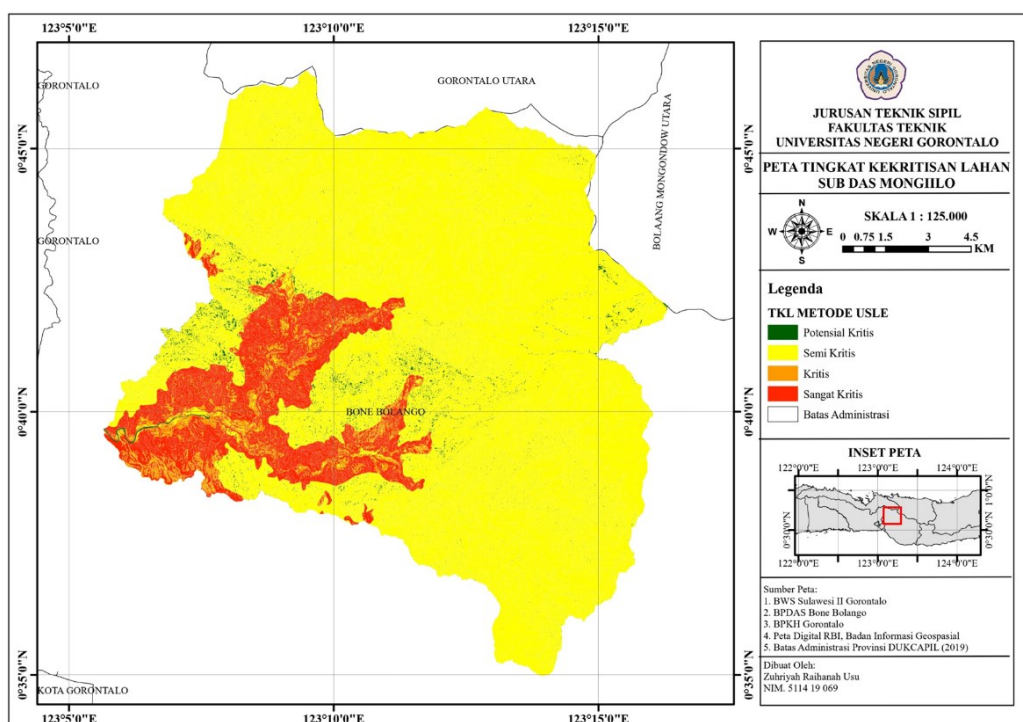
Tingkat bahaya erosi dan kekritisan lahan metode USLE dan MUSLE kemudian dilakukan pemodelan dengan menggunakan ArcGIS. Hasil pemodelan menggunakan ArcGIS ditunjukkan pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 5.



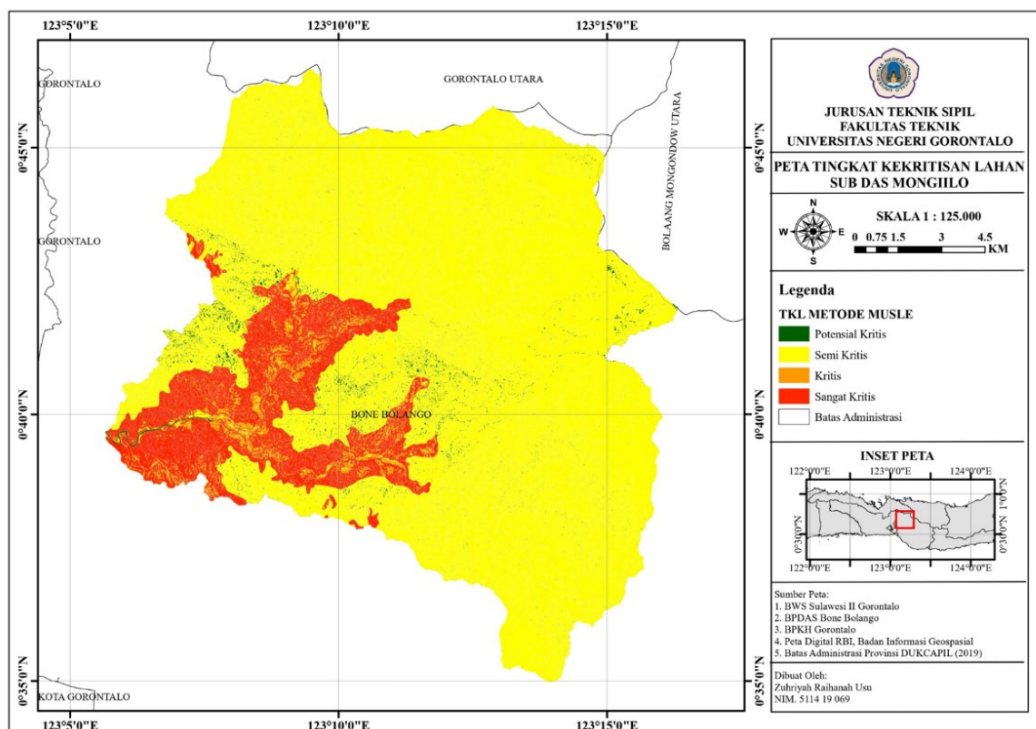
Gambar 2. Peta Tingkat Bahaya Erosi Metode USLE



Gambar 3. Peta Tingkat Bahaya Erosi Metode MUSLE



Gambar 4. Peta Tingkat Kekritisan Lahan Metode USLE



Gambar 5. Peta Tingkat Kekritisan Lahan Metode MUSLE

Dari kedua metode USLE dan MUSLE diketahui bahwa tingkat bahaya erosi di Sub DAS Mongiilo adalah dominan sedang dengan persentase USLE = 49,15 % dan MUSLE= 75,31% serta Tingkat kekritisan lahan dominan semi kritis. Perbedaan hasil ini mengindikasikan sensitivitas metode MUSLE terhadap parameter limpasan permukaan, yang tidak diperhitungkan secara langsung dalam USLE. Sementara itu, klasifikasi tingkat kekritisan lahan menunjukkan dominasi kelas semi kritis, yang mengindikasikan bahwa wilayah tersebut mulai mengalami penurunan fungsi lahan.

Hasil laju sedimentasi metode MUSLE yang nilainya sama dengan laju erosi menunjukkan perbedaan signifikan dengan laju sedimentasi metode USLE yang menggunakan faktor SDR. Penelitian sejenis oleh (Krisnayanti, 2018) di DAS Noel-Puames, di mana nilai laju sedimentasi yang diperoleh dari metode MUSLE cenderung lebih tinggi dibandingkan metode USLE. Perbedaan ini terutama disebabkan oleh variabel yang digunakan masing-masing metode, yakni faktor limpasan permukaan pada MUSLE dan faktor erosivitas hujan pada USLE.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Metode MUSLE menghasilkan estimasi laju erosi dan sedimentasi sebesar 6.574.766,83 ton/tahun (4.534.168,21 m³/tahun), yang lebih tinggi sekitar 52% dibandingkan hasil laju erosi metode USLE sebesar 4.325.766,83 ton/tahun

(2.983.287,47 m³/tahun), menunjukkan bahwa MUSLE lebih sensitif terhadap variabel limpasan permukaan dalam prediksi kehilangan tanah dan sedimen.

Nilai laju sedimentasi metode USLE sebesar 680.898,22 ton/tahun menunjukkan adanya perbedaan dibandingkan dengan data perencanaan proyek sebesar 491.730,18 ton/tahun. Selisih sebesar 189.168,04 ton/tahun ini mencerminkan bahwa hasil aktual lebih tinggi dari proyeksi awal. Rasio perbedaan sebesar 1,38% mengindikasikan adanya prediksi peningkatan beban sedimen yang perlu diperhatikan.

Tingkat bahaya erosi dan kekritisannya lahan di Sub-DAS Mongiilo tergolong kategori sedang, dengan luasan mencapai 49,15% berdasarkan metode USLE dan 75,31% berdasarkan metode MUSLE. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan komponen parameter yang digunakan, di mana USLE mengandalkan faktor erositivitas hujan, sedangkan MUSLE mempertimbangkan limpasan permukaan yang lebih merepresentasikan kondisi hidrologi aktual. Analisis berbasis unit lahan menggunakan *ArcGIS* mengakibatkan perbedaan dalam sensitivitas parameter dan berdampak langsung terhadap hasil distribusi spasial.

Saran

Sebagai upaya agar diperoleh hasil studi yang lebih baik yaitu dapat ditambahkan metode *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) agar dapat dijadikan parameter lain yang membedakan antara metode tersebut dan hasil penelitian. Selain itu apabila waduk telah difungsikan dapat diukur hasil sedimentasi di lapangan dan dijadikan sebagai perbandingan hasil perhitungan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada BWS Wilayah Sulawesi II, BPDAS Bone Bolango dan BPKH Wilayah XV yang telah membantu menyediakan kelengkapan data sekunder pada penelitian ini.

Daftar Referensi

- Aji Saputra, K. D., & Abdurrosyid, J. (2022). Perbandingan antara metode usle dan musle dalam analisis erosi lahan pada daerah tangkapan air waduk cengklik. *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 15(1), 54–61. <https://doi.org/10.23917/dts.v1i1.18531>
- Arsyad, S. (2010). *Konservasi Tanah dan Air* (Kedua). IPB Pres.
- Asdak, C. (2022). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. UGM Press.
- Hadisusanto, N. (2010). *Aplikasi Hidrologi* (H. Istianto (ed.); 1st ed.). Jogja Mediautama.
- Krisnayanti, D. S. (2018). Estimation of Erosion and Sedimentation Using USLE and MUSLE Methods in the Noel - Puames River Basin. *Jurnal Teknik Sipil*, VII(2), 12.

- Natalia, A. C., Hambali, R., & Sabri, F. (2022). Analisis Erosi Pada Daerah Aliran Sungai Baturusa. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 2(1), 13–24. <https://doi.org/10.56860/jtsda.v2i1.26>
- Putri, D. A., Sholichin, M., & Sisinggih, D. (2022). Studi Pendugaan Erosi dan Sedimentasi Menggunakan Metode USLE dan MUSLE di Waduk Krisak Kabupaten Wonogiri. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(1), 124–136. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2023.003.01.12>
- Utomo, W. H. (1994). *Erosi dan Konservasi Tanah* (1st ed.). IKIP Malang.