

Laju Erosi dan Potensi Sedimen DTA Danau Tondano

La'la Monica¹, Liany Amelia Hendratta², Mecky R. E. Manoppo³

Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Kota Manado ^{1,2,3}

E-mail: lala.monica@unsrat.ac.id

Abstrak

Proses alih fungsi lahan yang tak terkendali mengakibatkan permasalahan pada ekosistem baik itu tanah maupun kelestarian sumber daya air. Adanya perubahan tutupan lahan yang tak terkontrol mengakibatkan turunnya fungsi keseluruhan DAS dalam segi fungsi tata air serta dapat meningkatkan limpasan air permukaan yang memicu terjadi erosi, sedimentasi dan banjir. Salah satu permasalahan yang menjadi perhatian yaitu peningkatan erosi yang menyebabkan sedimentasi dan pendangkalan di Danau Tondano, sebagai akibat dari perubahan tata guna lahan pada daerah tangkapan danau. Data curah hujan bulanan maksimum tahun 2022 dari stasiun hujan Paleloan, stasiun hujan Malalayang-Kakaskasen, stasiun hujan Noongan-Winebetan, dan stasiun hujan Molompar-Rasi digunakan pada penelitian ini. Evaluasi tutupan lahan yang terjadi di DTA Danau Tondano berdasarkan peta tutupan lahan yang diperoleh dari BPDASHL Danau Tondano. Pendugaan laju erosi menggunakan metode Universal Soil Loss Equation (USLE) dan pendugaan sedimentasi menggunakan metode Sediment Delivery Ratio (SDR). Penelitian ini memasukan pengaruh faktor pengelolaan tanaman dan konservasi tanah dengan membuat penanaman menurut garis kontur untuk seluruh daerah dengan kemiringan lereng 8-20% . Dengan adanya perlakuan ini peningkatan laju erosi yang terjadi sebesar 41.281 ton/ha/tahun dan termasuk pada klasifikasi tingkat bahaya erosi kategori ringan. Kegiatan pengelolaan tanaman dan konservasi tanah perlu dipertahankan agar dapat mengurangi laju erosi dan sedimentasi di Danau Tondano.

Kata kunci: erosi, dta danau tondano, sedimentasi, tata guna lahan, USLE.

Abstract

The process of uncontrolled land conversion causes problems in the ecosystem, both land and water resource sustainability. Uncontrolled changes in land cover result in a decline in the overall function of the watershed in terms of water management functions and can increase surface water runoff which triggers erosion, sedimentation and flooding. One of the problems of concern is increased erosion which causes sedimentation and shallowing in Lake Tondano, as a result of changes in land use in the lake's catchment area. Maximum monthly rainfall data in 2022 from the Paleloan rain gauge station, Malalayang-Kakaskasen rain gauge station, Noongan-Winebetan rain gauge station, and Molompar-Rasi rain gauge station were used in this research. Evaluation of land cover occurring in the Tondano Lake Catchment Area based on land cover maps obtained from the Tondano Lake BPDASHL. Estimation of erosion rates used the Universal Soil Loss Equation (USLE) method and sedimentation estimation analysis used the Sediment Delivery Ratio (SDR) method. This study included the influence of plant management and soil conservation factors by planting according to contour lines for all areas with a slope of 8-20%. With this condition, the erosion rate in the Lake Tondano catchment area was 41,281 tons/ha/year and which was included in the classification of the light category level of erosion hazard. Plant management and soil conservation activities need to be maintained in order to reduce the rate of erosion and sedimentation in Lake Tondano.

Keywords: erosion, lake tondano catchment area, sedimentation, land use, USLE.

1. PENDAHULUAN

Dinamika perubahan tutupan lahan merupakan isu global yang menjadi perhatian dan tantangan dalam menjaga kelestarian keseimbangan alam. Perubahan dan penggunaan lahan yang tak terkendali mengakibatkan permasalahan pada ekosistem baik itu tanah maupun kelestarian sumber daya air. Daerah aliran sungai (DAS) merupakan bagian dari sumber daya air, adalah suatu ekosistem yang didalamnya terdiri dari komponen harmonisasi biotik dan abiotik yang tak dapat dipisahkan sehingga semua aktivitas yang terjadi akan sangat saling mempengaruhi. Dampak pemanasan global terhadap perubahan iklim berdampak pada perubahan lingkungan pada tingkat lokal termasuk didalamnya daerah tangkapan air Danau Tondano merupakan bagian dari wilayah ekosistem hulu DAS Tondano. DTA berfungsi signifikan terhadap perlindungan seluruh kesatuan DAS di mana kawasan ini sangat rentan, terkait dengan perubahan tutupan yang mencakup penggunaan dan aktivitas didalamnya yang akan berdampak pada keberlangsungan daerah hilir. Adanya perubahan tutupan lahan yang tak terkontrol mengakibatkan turunya fungsi keseluruhan DAS dalam segi fungsi tata air serta dapat meningkatkan limpasan air permukaan yang memicu terjadi erosi, sedimentasi dan juga banjir (Arsyad, 2010).

DTA Danau Tondano dalam wilayahnya mencakup Danau Tondano yang dalam pemanfaatannya Danau Tondano sendiri masuk dalam Kawasan Strategis Pariwisata Nasional (KSPN) dan sebagai kawasan pendukung Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Likupang. Isu lokal yang dihadapi DTA Danau Tondano berupa perubahan tutupan lahan di daerah hulu dan kawasan sekitar danau, banjir, okupasi sempadan danau, erosi lahan, sedimentasi pada danau, pencemaran air danau dan eutrofikasi menjadikan kawasan ini masuk dalam danau prioritas. Danau prioritas nasional merupakan konsentrasi dan perhatian nasional dalam upaya mengendalikan daya rusak, menjaga serta mengembalikan kondisi dan fungsi alam (badan air, daerah tangkapan dan sempadan) dalam menopang siklus hidrologis dan menjamin kesejahteraan masyarakat di dalamnya secara berkelanjutan

Salah satu permasalahan yang menjadi perhatian yaitu peningkatan erosi yang menyebabkan sedimentasi pada Danau Tondano, sebagai akibat dari perubahan tata guna lahan di daerah tangkapan danau (Raco, B., dkk, 2022).

Berbagai penelitian menunjukkan adanya perubahan tutupan lahan di hulu DAS Tondano seperti tercantum dalam pengamatan tahun 1990 dan tahun 2000 dimana terjadi penambahan luasan terbesar yaitu perkebunan rakyat sebesar 17,87 %, kebun campuran sebesar 4,35 %, hutan lebat sebesar 2,92 %, sawah sebesar 2,34 % dan tutupan lahan tambak 0,089 % dari total luas sebesar 218,83 Km². Pengurangan luasan terjadi pada tutupan lahan tegalan dengan persentase penurunan sebanyak 16,65 % dan pada hutan belukar 10,93 % (Moningkey, dkk, 2022). Pada periode tahun 2002 sampai 2015, konversi lahan terjadi pada tutupan lahan hutan menjadi lahan pertanian dengan penambahan luas 11 % . Sementara itu, pada tutupan lahan sawah mengalami pengurangan lahan paling luas adalah tutupan lahan hutan yaitu seluas 12 % dari luas total DAS Tondano (Rotinsulu dkk., 2018). Lahan sawah yang berkurang menjadi lahan kering/ pemukiman yang cenderung akan sulit menjadi lahan sawah kembali .

Fenomena ini menyebabkan perubahan kondisi hidrologi pada DTA dan menimbulkan permasalahan erosi dan sedimentasi pada danau. Menelaah akan permasalahan dan hasil-hasil studi yang sudah ada, maka dirasa perlu dilakukan penelitian ini untuk mendapatkan data terbaru mengenai gambaran akan pendugaan laju erosi dan sedimentasi terhadap pengaruh faktor perubahan tutupan lahan pada DTA Danau Tondano dan diharapkan bisa menjadi indikator tambahan dalam upaya konservasi pada DTA Danau Tondano.

2. METODE PENELITIAN

Daerah Tangkapan Air Danau Tondano secara geografis terletak antara 10°20'25" dan 01°45'04" LU dan 124°6'06" dan 124°58'20" BT. Total luas DAS Danau Tondano sebesar 186,62 km² terbagi menjadi beberapa sub DAS berdasarkan anak-anak sungainya yang masuk ke Danau Tondano. Berdasarkan metode polygon Thiessen terdapat 4 stasiun hujan yang berpengaruh pada DAS Danau Tondano yaitu stasiun hujan Paleloan, stasiun hujan Malalayang-Kakaskasen, stasiun hujan Noongan-Winebetan, dan stasiun hujan Molompar- Rasi.

Analisis laju erosi dilakukan untuk mendapatkan besaran erosi yang terjadi pada satu tahun dengan satuan besaran ton/ha/tahun. Penelitian ini menggunakan data curah hujan bulanan maksimum sepanjang tahun 2022 dari empat stasiun hujan di atas. Sementara itu, data karakteristik DTA Danau Tondano berupa peta jenis tanah dan peta tutupan lahan DAS Tondano diperoleh dari BPDASHL Tondano. Kedua data karakteristik DTA danau Tondano di atas dan peta kemiringan lereng lahan di wilayah studi selanjutnya diolah dan dianalisis secara spasial menggunakan bantuan perangkat lunak GIS ArcMap 10.8.

Perhitungan laju erosi permukaan pada penelitian ini menggunakan model Universal Soil Loss Equation (USLE) oleh Wischmeier dan Smith dimana model ini menunjukkan adanya kesamaan antara perhitungan teoritis dan pengamatan faktual dalam menentukan jumlah kehilangan tanah daerah aliran sungai; model USLE secara umum layak dalam memperkirakan kuantitas sedimen yang masuk reservoir (Kurniawan, dkk, 2022). Model USLE menganalisis jumlah rata-rata kehilangan tanah (ton/ha/tahun) berdasarkan pengaruh beberapa variable yaitu erosivitas hujan, erodibilitas tanah, Panjang dan kemiringan lereng, pengelolaan tutupan lahan dan upaya konservasi lahan seperti pada persamaan (1).

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

Dengan,

- A : laju erosi (ton/ha/tahun)
- R : Erosivitas curah hujan tahunan rata-rata
- K : Indeks erodibilitas tanah
- LS : Indeks panjang dan kemiringan lereng
- C : Indeks pengelolaan tanaman
- P : Indeks upaya konservasi tanah

2.1 Erosivitas Hujan (R)

Faktor erosivitas hujan (R) menggambarkan kemampuan curah hujan dalam menahan erosi yang akan terjadi. Perhitungan faktor erosivitas hujan berdasarkan Bols (1978) seperti pada persamaan (2) dan selanjutnya nilai erosivitas curah hujan tahunan rata-rata adalah jumlah Rm selama 12 bulan.

$$Rm = 6.119 Rain^{1.21} \times Days^{-0.47} \times R_{Max}^{0.53} \quad (2)$$

Dengan,

- Rm : Indeks erosivitas hujan bulanan
- Rain : Curah hujan bulanan (cm)
- Days : Jumlah hari hujan bulanan (hari)
- Rmax : Hujan harian maksimum pada bulan tersebut (cm)

2.2 Erodibilitas Tanah (K)

Erodibilitas merupakan gambaran kepekaan tanah terhadap tingkat erosi. Di DTA danau Tondano, sebaran jenis tanah dan nilai erodibilitas tanah (K) yang diklasifikasikan berdasarkan jenis tanah seperti ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Tipe Tanah and dan Faktor Erodibilitas Tanah (K)

<i>Ordo</i>	<i>Great-group</i>	<i>Nilai K</i>	<i>Sumber</i>
Inceptisol	Dystrandepts	0,31	Arsyad et all. (2018)
	Hydrandepts	0,32	Isma et all. (2016)
	Humitropepts	0,22	Suryadi C,2011
	Ustepts	0,23	Dangler and El-Swaify (1976)
	Udepts	0,23	in Silalahi et all. (2017)
	Eutropepts	0,16	Chay Asdak. (1995)
	Eutrandepts	0,22	
	Dystropepts	0,23	Chay Asdak (1995) in Rantung M. (2013)
	Tropaquepts	0,20	
Entisol	Fluvaquents	0,178	Osok et.all. (2018)
Afisol/Inceptol (Meditaran)	Tropohumult	0,10	Undang K. and Suwardjo (1984)
Afisol/Inceptol (Meditaran)	Tropudalfs	0,23	
Ultisol (Podsolik)	Tropudults	0,16	Chay Asdak (1995) in Rantung M. (2013)
Entisol/Inceptisol (Regosol)	Troporthents	0,14	Undang K. and Suwardjo (1984)

Raco, B., dkk, 2022

2.3 Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng dan panjang lereng dari lahan sangat diperlukan untuk menentukan besar kehilangan volume tanah akibat erosi.

Faktor panjang lereng (L) bergantung pada nilai panjang lereng (Lo), seperti pada persamaan (3). Jika lahan tinjauan terdiri dari berbagai jenis tanah maka nilai Lo untuk setiap jenis tanah ditentukan berdasarkan hasil overlay peta jenis tanah dan peta kemiringan lahan.

$$L = \sqrt{\frac{L_0}{22}}L = \sqrt{\frac{L_0}{22}} \quad (3)$$

Kemiringan lereng (S) dapat dihitung menggunakan persamaan (4).

$$S = \left(\frac{S}{9}\right)^{1.4} \quad (4)$$

Penentuan nilai LS menggunakan analisis spasial pengelolaan data Sistem Informasi Geografi (SIG). Untuk penyederhanaan dalam menentukan nilai faktor LS, telah ditetapkan oleh Departemen Kehutanan Republik Indonesia berdasarkan kelas lereng seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Penilaian Kelas Lereng dan Nilai LS

Kelas lereng	Kemiringan (%)	Nilai LS
I	0-8	0,4
II	8-15	1,4
III	15-25	3,1
IV	25-40	6,8
V	> 40	9,5

2.4 Faktor Penutup Vegetasi (C) dan Pengelolaan Lahan (P)

Pada studi ini, penentuan faktor vegetasi (C) berdasarkan jenis tutupan lahan pada DTA Danau Tondano dirangkum pada Table 3.

Aktivitas pengelolaan dan konservasi lahan pada jenis tutupan lahan DTA Danau Tondano sangat bervariasi. Penentuan faktor pengelolaan lahan (P) sangat bergantung pada bentuk aktivitas manusia dan seperti ditunjukkan pada Tabel 4. Nilai P bervariasi dari 0,04 sampai 1, tergantung dari Teknik konservasi yang dilakukan dan nilai P=1 menunjukkan bahwa pada lahan tersebut tidak dilakukan tindakan konservasi.

Tabel 3. Jenis tata guna lahan dan nilai C

Jenis tata guna lahan	Nilai C	Sumber
Hutan lahan kering primer	0,001	Asdak (1995)
Hutan lahan kering sekunder	0,005	Sinaga dkk. (2014)
Hutan belukar	0,30	Isma dkk. (2016)
Pertanian lahan kering	0,19	
Pertanian lahan kering campur	0,28	Isma dkk. (2016)
Sawah	0,01	
Pemukiman	1,00	Asdak (1995)
Lahan terbuka	1,00	
Badan air	0,01	

Tabel 4. Nilai P untuk Berbagai Konservasi Lahan

Tindakan Konservasi	Nilai P
Teras bangku:	0,04
Konstruksi baik	
Konstruksi sedang	0,15
Konstruksi kurang baik	0,35
Teras tradisional	0,40
Strip tanaman rumput Bahlia	0,40
Pengelolaan tanah dan penanaman menurut garis kontur:	
Kemiringan 0-8%	0,50
Kemiringan 8-20%	0,75
Kemiringan >20%	0,90
Tanpa Tindakan konservasi	1,00

(Arsyad, S. 2010)

2.5 Pendugaan Laju Sedimentasi dengan Sediment Delivery Ratio (SDR)

Analisis laju sedimentasi pada DAS dapat dilakukan dengan tanpa melakukan pengambilan sampel sedimen langsung di lapangan. Terdapat beberapa cara untuk penetapan nilai SDR dan dalam penelitian ini digunakan penetapan nilai SDR sebagai fungsi dari ukuran DAS. Selanjutnya, analisis besaran sedimen potensial (Spot) yang terjadi adalah nilai erosi aktual (Eact) dikalikan dengan nilai SDR.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Tutupan Lahan DTA Danau Tondano

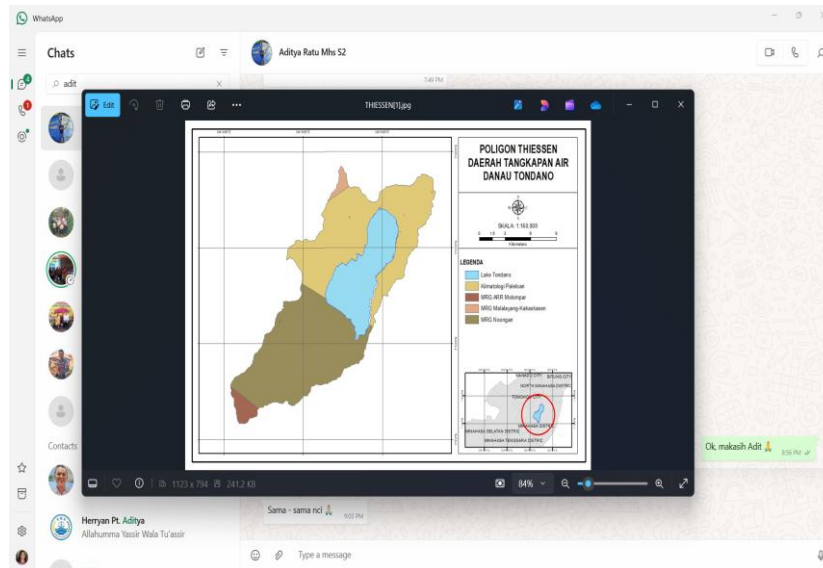
Kondisi tutupan lahan pada DTA danau Tondano terbagi atas berbagai jenis yaitu hutan lahan kering primer, hutan lahan kering sekunder, semak belukar, pertanian lahan kering, pertanian lahan kering campur, sawah, pemukiman, tanah terbuka dan badan air. Berdasarkan data dari BPHDSL Tondano, sebaran tutupan lahan pada tahun 2022 seperti tercantum pada Tabel 5.

Tabel 5. Tutupan lahan di DTA danau Tondano

Jenis tutupan lahan	Area	
	Tahun 2022 (Ha)	Persen (%)
Hutan lahan kering primer	252,89	1,36
Hutan lahan kering sekunder	625,36	3,35
Hutan belukar	354,34	1,90
Pemukiman	1232,45	6,60
Lahan terbuka	54,48	0,29
Badan air	120,60	0,65
Pertanian lahan kering	7036,64	37,71
Pertanian lahan kering campur	3279,20	17,57
Sawah	5706,19	30,58
Total	18662,15	100

3.2 Analisis Curah Hujan

Pada DTA Danau Tondano terdapat empat stasiun hujan yang memiliki pengaruh terhadap inflow Danau Tondano. Berdasarkan metode poligon Thiessen seperti terlihat pada Gambar 1., empat stasiun hujan yang berpengaruh langsung di DTA Danau Tondano beserta luasan pengaruhnya yaitu stasiun hujan Malalayang-Kakaskasen (261,36 Ha; 1%), stasiun hujan Paleloan (7.988,96 Ha; 43%), stasiun hujan Noongan-Winebetan (9882,33 Ha; 53%), dan stasiun hujan Molompar-Rasi (529,35 Ha; 3%). Setiap pos hujan memiliki pencatatan data curah hujan yang berbeda, sehingga perlu dianalisis nilai curah hujan wilayah yang mewakili kejadian hujan pada seluruh DTA Danau Tondano.



Gambar 1. Luasan pengaruh stasiun hujan di DTA Danau Tondano

3.3 Erosivitas Hujan (R)

Nilai erosivitas dianalisis dengan persamaan Bols (1978) yang menggunakan nilai curah hujan tahunan wilayah. Untuk 2022 (lihat Tabel 6), curah hujan tahunan sebesar 287,421 cm/tahun yang menghasilkan erosivitas hujan (R) sebesar 2.663,14 MJ.cm/ha.jam/tahun.

Tabel 6. Analisis Erosivitas Hujan

Tahun	Bulan	RAIN	DAYS	MAXP	Rm	Rtotal
		[cm]	[hari]	[cm]		
2022	Jan	22.245	17	3467.62	262.83	2663.14
	Feb	16.695	17	4952.35	161.04	
	Mar	25.634	19	2005.20	225.63	
	Apr	33.188	18	2440.49	311.11	
	May	22.284	15	2836.29	243.98	
	Jun	16.214	12	2199.58	126.81	
	Jul	14.827	14	1781.32	110.95	
	Aug	18.524	17	1947.21	145.97	
	Sep	12.870	14	2967.32	117.74	
	Oct	33.319	15	1726.85	303.99	
	Nov	36.970	21	2625.56	334.51	
	Dec	34.650	16	14.34	318.60	
		287.421				

3.4 Erodibilitas Tanah (K)

Tabel 1. Menunjukkan Nilai erodibilitas tanah (K) untuk setiap jenis tanah di DTA danau Tondano yang nilainya bervariasi antara 0.10 – 0.32. Pengelompokan jenis tanah didasarkan pada kemiripan sifat bahan induk, hubungan geografis, serta tersebar di dalam satu satuan peta sesuai pola tertentu. Selanjutnya, nilai Erodibilitas tanah seluruh DTA danau Tondano diperoleh dari rata-rata setiap nilai erodibilitas jenis tanah dengan pengaruh luasan masing-masing. Dari hasil analisis diperoleh nilai erosivitas tanah (K) seluruh DTA danau Tondano sebesar 0,201, lihat Tabel 7.

Tabel 7. Perhitungan nilai K dan LS berdasarkan jenis tanah pada DTA danau Tondano

Asosiasi Jenis Tanah DTA Danau Tondano		Area, A (Ha)	Erodibilitas Lahan (K)			Panjang dan Kemiringan Lereng				
			Nilai K	A × K	(%)	Nilai S (%)	Panjang Lereng (m)	Nilai L (m)	Nilai LS	LS × A
Dystrandepts,	Humitropepts	1646,370	0,28	460,98	8,9	11,186	150,5	2,62	0,878	1444,72
Humitropepts,	Dystropepts	397,125	0,18	71,48	2,1	11,186	150,5	2,62	0,878	348,48
Humitropepts,	Dystropepts	3105,405	0,18	558,97	16,8	11,186	150,5	2,62	0,878	2725,05
Tropudults,	Dystropepts	254,773	0,18	45,86	1,4	11,186	150,5	2,62	0,878	223,57
Tropudults,	Dystropepts	124,666	0,18	22,44	0,7	11,186	150,5	2,62	0,878	109,40
Tropudults,	Dystropepts	210,779	0,18	37,94	1,1	11,186	150,5	2,62	0,878	184,96
Ustepts	Udepts	24,514	0,23	5,64	0,1	11,186	150,5	2,62	0,878	21,51
Ustepts	Udepts	406,845	0,23	93,57	2,2	11,186	150,5	2,62	0,878	357,01
Ustepts	Udepts	259,856	0,23	59,77	1,4	11,186	150,5	2,62	0,878	228,03
Ustepts	Udepts	339,033	0,23	77,98	1,8	11,186	150,5	2,62	0,878	297,51
Fluvaquents	Tropaquepts	4896,056	0,19	930,25	26,4	0,439	50	1,51	0,166	813,31
Eutropepts		814,125	0,16	130,26	4,4	3,166	350,5	3,99	0,482	392,34
Humitropepts,	Dystropepts	68,441	0,23	15,74	0,4	1,496	500	4,77	0,386	26,45
Eutropepts	Distrandepts	434,581	0,24	104,30	2,3	7,374	350,5	3,99	0,799	347,29
Dystrandepts,	Humitropepts	31,003	0,28	8,68	0,2	11,186	150,5	2,62	0,878	27,21
Fluvaquents	Tropaquepts	1041,288	0,19	197,84	5,6	0,439	50	1,51	0,166	172,97
Eutropepts	Distrandepts	471,638	0,24	113,19	2,5	6,166	350,5	3,99	0,708	334,15
Eutrandepts	Eutropepts	127,832	0,19	24,29	0,7	1,496	350,5	3,99	0,354	45,20
Tropudalfs,	Dystropepts	162,386	0,21	34,10	0,9	3,166	150,5	2,62	0,390	63,35
Tropudalfs,	Dystropepts	1465,711	0,21	307,80	7,9	3,166	150,5	2,62	0,390	571,78
Eutrandepts	Eutropepts	1692,008	0,19	321,48	9,1	1,496	350,5	3,99	0,354	598,28
Eutropepts		466,729	0,16	74,68	2,5	3,166	350,5	3,99	0,482	224,92
Dystrandepts	Eutropepts	78,986	0,24	18,96	0,4	6,166	75	1,85	0,482	38,06
Total		18520,151		3716,209					14,812	9595,58
Rata-rata			K = 0,201						LS = 0,518	

3.5 Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng

Nilai LS pada DTA Danau Tondano berupa sebaran lereng lahan dengan persentase kelandaian sebagaimana terangkum pada Tabel 2. Perhitungan faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) dilakukan berdasarkan jenis tanah dengan luasan lahan masing-masing dan diperoleh nilai faktor LS sebesar 0,518 (lihat Tabel 7).

3.6 Faktor Penutup Vegetasi (C) dan Pengelolaan Lahan (P)

Nilai C dan P adalah koefisien yang mewakili faktor pengelolaan tanaman dan konservasi tanah di DTA danau Tondano. Pada studi ini, besaran nilai C adalah nilai rerata dari 9 jenis tutupan lahan (Lihat tabel 3) dengan pengaruh luasan setiap jenis tutupan lahan (lihat tabel. 5). Diperoleh nilai C untuk Tahun 2022 adalah 0.199. Nilai P ditentukan berdasarkan kondisi telah dilakukannya konservasi pada DTA Danau Tondano, nilainya antara 0,50-0,90 sesuai Tabel 4.

3.7 Penentuan Laju Erosi dan Sedimen Potensial

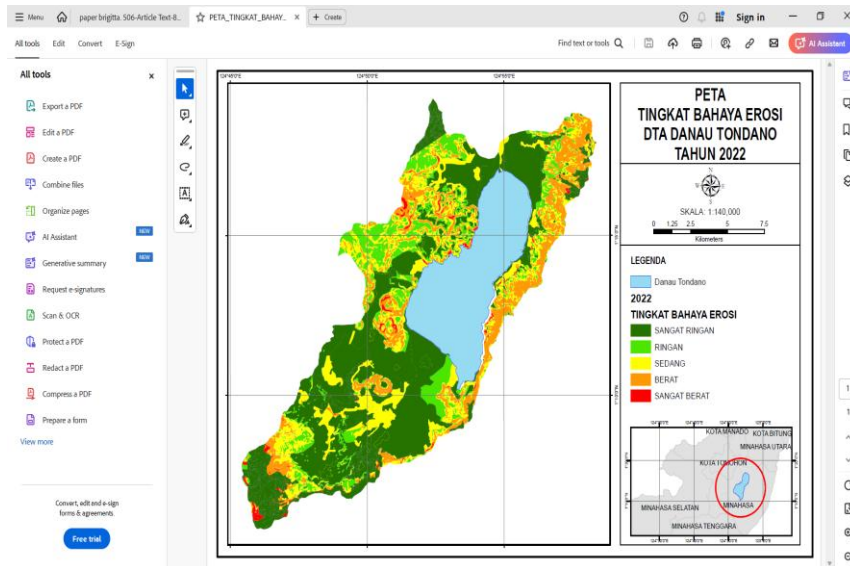
Laju erosi pada DTA Danau Tondano dianalisis menggunakan model USLE sebagaimana Persamaan (1) untuk setiap jenis tutupan lahan. Diperoleh laju erosi tahun 2022 sebesar 41.281 ton/ha/tahun, lihat Tabel 9. Nilai laju erosi pada tahun 2022 ini menunjukkan

terjadi penurunan dibandingkan hasil studi sebelumnya (Terok, dkk., 2014), dimana dari hasil penelitian diperoleh seluas 77,35% dari total luas area DTA danau Tondano berada pada tingkat bahaya erosi sedang dengan laju erosi sebesar 60-180 ton/ha/tahun. Upaya-upaya konservasi lahan dari pemerintah terus dilakukan untuk mengurangi laju erosi di DTA danau Tondano dan tingkat bahaya erosi sebagian besar daerah DTA danau Tondano sudah berada pada kondisi ringan dengan laju erosi antara 15-60 ton/ha/tahun. Peta Tingkat bahaya erosi seluruh DTA danau Tondano Tahun 2022 seperti pada Gambar 2. Dari gambar ini terlihat bahwa seluruh DTA danau Tondano terdapat 5 tingkat bahaya erosi yaitu mulai dari tingkat bahaya erosi sangat ringan, ringan, sedang, berat dan sangat berat. Tingkat bahaya erosi sangat berat didominasi daerah-daerah dengan kemiringan lereng >40% dengan kondisi peruntukan sebagai lahan terbuka. Selanjutnya, tingkat bahaya erosi berat lebih didominasi daerah dengan kemiringan lereng 25-40% dengan penggunaan pertanian lahan kering campur. Untuk daerah dengan kemiringan lereng 0-8% didominasi penggunaan sebagai lahan sawah dan memiliki tingkat bahaya erosi sangat ringan. Pengelompokan kelas tingkat bahaya erosi ditentukan berdasarkan laju erosi yang terjadi seperti tercantum pada Tabel. 8 di bawah ini.

Tabel 8. Klasifikasi Kelas Bahaya Erosi (Arsyad, 2010)

Kelas Bahaya Erosi	Laju Erosi Ton/ha/thn	Keterangan
I	< 15	Sangat ringan
II	15-60	Ringan
III	60-180	Sedang
IV	180-480	Berat
V	>480	Sangat berat

Selain analisis penentuan laju erosi, erosi potensial (Epot) dapat dianalisis berdasarkan pengaruh erosivitas hujan (R), erodibilitas tanah (K), factor Panjang dan kemiringan lahan (LS) dan luas lahan. Selanjutnya, nilai erosi aktual (Eakt) dihitung berdasarkan nilai E Potensial dengan memasukan pengaruh faktor pengelolaan tanaman dan konservasi tanah. Analisis besarnya sedimen potensial (Spot) yang masuk ke danau merupakan fungsi dari Eakt dan nilai Sediment Delivery Ratio (SDR). Penetapan nilai SDR dalam penelitian ini berdasarkan ukuran DTA. Luas DTA danau Tondano sebesar 18.662,15 Ha dan dari tabel hubungan antara luas DAS dengan rasio penghantar sedimen (Robinson, 1979), diperoleh nilai SDR 0,11 untuk luas DTA antara 10.000-20.000 Ha. Sehingga, besar sedimen potensial untuk tahun 2022 adalah 113.846.61 ton/tahun (42.960,99 m³/tahun).



Gambar 2. Peta Tingkat bahaya erosi DTA Danau Tondano Tahun 2022

Tabel 9. Perhitungan erosi dan sedimen potensial

Tahun	R	K	LS	C	P	USLE	Epot		Eakt	Kelas	
						EROSI (A) (ton/ha/thn)	(ton/yr)	(ton/ha/thn)	(ton/thn)	(ton/ha/yr)	Erosi
2022	2663.142	0.20	0.518	0.199	0.75	41.281	6941468.3	276.871	1034969.18	41.281	II

4. KESIMPULAN

Peningkatan laju erosi di DTA Danau Tondano pada Tahun 2022 sebesar 41.281 ton/ha/tahun. Berdasarkan klasifikasi tingkat bahaya erosi, wilayah DTA Danau Tondano masih didominasi oleh lahan pada tingkat bahaya erosi kelas II atau kategori ringan. Tingkat bahaya erosi sangat berat didominasi daerah-daerah dengan kemiringan lereng $>40\%$ dengan kondisi peruntukan sebagai lahan terbuka. Selanjutnya, tingkat bahaya erosi berat lebih didominasi daerah dengan kemiringan lereng 25-40% dengan pemanfaatan sebagai pertanian lahan kering campur. Pengaruh faktor pengelolaan tanaman dan konservasi lahan dengan kemiringan antara 25-40% dan kemiringan $>40\%$ dapat mengurangi besar sedimen potensial menjadi 113.846.61 ton/tahun (42.960,99 m³/tahun). Perubahan tata guna lahan dan tutupan lahan serta upaya-upaya konservasi lahan pada DTA Danau Tondano memiliki korelasi terhadap peningkatan laju erosi dan potensi sedimen. Hal ini diharapkan perlu menjadi perhatian seluruh pemangku kepentingan agar tidak memperburuk sedimentasi di Danau Tondano yang berujung pada menurun kapasitas tampung danau Tondano.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S., (2010), *Konservasi Tanah dan Air*, Ed. 2, Penerbit IPB, Bogor.
- Arsyad, U., Brakey, R. A., Wahyuni, W., dan Matandung, K. K., (2018), Karakteristik Tanah Longsor di Daerah Aliran Sungai Tangka. *Jurnal Hutan Dan Masyarakat*, Vol. 10(1), pp.203-214.

- Aisyah, B. N., (2022), Pendugaan Erosi dan perencanaan Tutupan Lahan di Hulu DAS Jeneberang. Provinsi Sulawesi Selatan, *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, Vol. 27(2), pp.302-310.
- Bayu, O., Endang, S. H., dan Indra, G., (2019), Analisis Erosi Pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Pompong Kabupaten Bangka, *Jurnal Fropil*, Vol. 7(2), pp. 70-84.
- Isma, F., Irwansyah, I., dan Neneng, I., (2017), Analisa Potensi Erosi Pada DAS Deli Sumatera Utara Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG), *JURUTERA-Jurnal Umum Teknik Terapan*, Vol. 4(1), pp.25-36.
- Kurniawan, V., Wati Asriningsih, P., dan Anugerah, T., P., (2022), Comparison in estimating reservoir lifetime by universal soil loss equation and site observation, *GEOMATE Journal*, Vol. 23, no. 98, pp. 92-99.
- Moningkey, A.T., dkk., Study of bathymetry and sedimentation in Tondano Lake, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., vol. 986, p. 012038, 2022.
- Monica, L., (2024), Tinjauan Bangunan Pengendali Sedimen Sungai Taler Kabupaten Minahasa, *Jurnal Teknik Sipil Terapan*, Vol. 6(1), pp. 45-54.
- R. Osok, S. Talakua, and E. Gaspersz, "Analysis of soil erosion factors, and erosion danger levels using the Rusle method in the Wai Batu Merah Watershed, Ambon City, Maluku Province", *J.Agric. Cult.*, vol. 14, no. 2, pp. 89-96, 2018.
- Raco, B., Albert, W., Robertus, W. T., (2022), Tingkat Bahaya Erosi Akibat Perubahan Tutupan Lahan pada Daerah Tangkapan Air Danau Tondano, *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 11(1).
- Rantung, M.M., Binilang, A., Wuisan, E. M., dan Halim. F., (2013), Analisis Erosi dan Sedimentasi Lahan di Sub DAS Panasen Kabupaten Minahasa, *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 1(5), pp.309-317.
- Robinson, A.R., Sediment yield as a function of upstream erosion, In: Universal Soil Loss Equation: Past, Present, and Future., vol. 8. John Wiley & Sons: Brisbane, 1979, pp. 7-16.
- Rotinsulu, W., Walangitan, H., dan Ahmad. A., (2018), Analisis Perubahan Tutupan Lahan DAS Tondano. Sulawesi Utara Selama Periode Tahun 2002 dan 2015, *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, Vol. 8(2), pp.161-169.
- Silalahi, R.R., Supriadi, dan Razali, (2017), Pemetaan Tingkat Bahaya Erosi Sub DAS Petani Sumatera Utara, *Jurnal Agroekoteknologi*, Vol. 5(1), pp.185-193.
- Terok, I. R. S., Pakasi, S., Supit, J., & Titah, T. (2014). Tingkat Bahaya Erosi Di Sub Das Tondano Bagian Timur Dengan Aplikasi Sistem Informasi Geografi.
- Undang, K., dan Suwardjo. (1984). Kepekaan Beberapa Jenis Tanah di Jawa Menurut Metode USLE. Pengembangan dan Penelitian Tanah dan Pupuk. Pusat Penelitian Tanah. Bogor. 3:17-20.