

## TINGKAT BAHAYA EROSI AKIBAT PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN PADA DAERAH TANGKAPAN AIR DANAU TONDANO

Brigitha Raco<sup>1</sup> ([brigitharaco@gmail.com](mailto:brigitharaco@gmail.com))

Albert Wicaksono<sup>2</sup> ([albert.wicaksono@unpar.ac.id](mailto:albert.wicaksono@unpar.ac.id))

Robertus W. Triweko<sup>3</sup> ([triweko@unpar.ac.id](mailto:triweko@unpar.ac.id))

### ABSTRAK

Berdasarkan data perubahan tutupan lahan pada periode 2008-2020, DTA Danau Tondano mengalami perubahan lahan baik itu penambahan maupun pengurangan luasan lahan. Dari hasil analisis, sawah merupakan lahan yang mengalami penambahan luasan lahan yang paling besar dengan luas 4.414,476 Ha, diikuti oleh pemukiman seluas 820,764 Ha. Penurunan luasan terbesar terjadi pada pertanian lahan kering dengan luas 6.082,573 Ha, diikuti oleh pertanian lahan kering campur seluas 1.883,956 Ha. Perubahan ini berdampak signifikan terhadap laju erosi pada DTA Danau Tondano sehingga dirasa perlu untuk mengkaji pengaruh perubahan lahan terhadap bahaya erosi yang dihasilkan. Analisis laju erosi menggunakan Model *Universal Soil Loss Equation* (USLE) menunjukkan total laju erosi mengalami peningkatan sebesar 160% selama periode 2008-2020. Koefisien korelasi sebesar 0,88, 0,82, 0,76, 0,75, dan 0,65 pada tutupan lahan sawah, pertanian lahan kering campur, pemukiman, tanah terbuka, dan hutan tanah kering primer menunjukkan bahwa perubahan luas lahan memiliki korelasi terhadap laju erosi pada DTA Danau Tondano. Walaupun DTA Danau Tondano masih didominasi daerah dengan tingkat bahaya erosi kelas I, namun terjadi peningkatan luas daerah yang termasuk ke dalam tingkat bahaya erosi kelas II dan III. Dengan demikian, pengelolaan dan konservasi tutupan lahan pada DTA Danau Tondano menjadi salah satu solusi kunci dalam mengendalikan laju erosi yang terjadi.

**Kata Kunci:** Danau Tondano, Laju Erosi, Tingkat Bahaya Erosi, Tutupan Lahan, USLE

### ABSTRACT

*Based on land cover data during 2008-2009, the area of land cover in catchment area of Lake Tondano have changed. The analysis showed paddy field area has increased 4414.476 Ha and make it the largest change over this period, followed by housing area which increased 820.764 Ha. Meanwhile, the dryland agriculture area has decreased by 6082.573 Ha, followed by mixed dryland agricultural land which decreased by 1883.956 Ha. These changes resulted in a derivative impact of erosion rates in the Lake Tondano catchment area. Therefore, it is necessary to analyze the effect of land change to the erosion rate. Erosion rate analysis using the Universal Soil Loss Equation (USLE) model showed the erosion rate has increased 160% during the period of 2008-2020. The increment is correlated with change of paddy field area, mixed dryland agriculture area, housing area, open land, and primay dryland forest with correlation coefficient of 0.88, 0.82, 0.76, 0.75, and 0.65, respectively. It is shown that land cover change has high correlation to the increment of erosion rate in Lake Tondano catchment area. Although the catchment area is still dominated by area with class I erosion hazard level, the area of II and III class is increasing. Therefore, a land use management and conservation in Lake Tondano catchment area becomes one key solution to control the erosion rate.*

**Keywords:** Lake Tondano, Erosion Rate, Erosion Hazard Level, Land Cover, USLE

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan;

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan, (penulis korespondensi);

<sup>3</sup> Jurusan Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

## PENDAHULUAN

Danau Tondano merupakan salah satu danau terbesar di Indonesia yang terletak di Kabupaten Minahasa Provinsi Sulawesi Utara. Danau Tondano terbentuk akibat aktifitas tektonik yang terjadi pada kawasan tersebut. Sumber air Danau Tondano berasal dari 35 sungai yang sebagian besar merupakan sungai musiman. Danau dan Sungai Tondano berkontribusi dalam menunjang kebutuhan hidup masyarakat dan berpengaruh cukup vital terhadap perkembangan dan keberlanjutan perekonomian di Provinsi Sulawesi Utara. Saat ini, Danau Tondano memasok kebutuhan air baku bagi Kota Manado dan sekitarnya, kegiatan budidaya perikanan, sumber air untuk irigasi, pariwisata, serta sumber air bagi pembangkit listrik tenaga air.

Dalam sejarahnya, daerah tangkapan air (DTA) Danau Tondano mengalami permasalahan erosi yang meningkat dari tahun ke tahun. Dinamika perubahan pemanfaatan lahan cenderung mengakibatkan turunnya kualitas dan kuantitas sumber daya air. Hal ini disebabkan karena ketidakseimbangan antara kemampuan dan ketersediaan lahan terhadap aktivitas dan kebutuhan manusia. Dengan kata lain, erosi yang terjadi pada DTA Danau Tondano memiliki hubungan erat dengan pertumbuhan ekonomi masyarakat dimana terjadi konversi dari lahan hijau menjadi lahan terbangun untuk menunjang aktifitas masyarakat.

Perubahan tutupan lahan pada DTA Danau Tondano telah tercatat menyebabkan terjadinya erosi yang cukup signifikan. Pada periode tahun 1989-1993 tercatat erosi terjadi pada 94% dari luas DAS, walaupun mayoritas masih dikategorikan dalam tingkat bahaya erosi (TBE) sangat ringan (Hikmatullah dkk., 2000). Hasil penelitian serupa ditunjukkan oleh Nugroho (2005) dimana pada tahun 1996 tercatat perubahan tutupan lahan seluas 26.200 Ha dengan laju erosi sebesar 4,6 ton/Ha/tahun. Perubahan tutupan lahan pada rentang tahun 1990-1999 didominasi kegiatan antropogenik seperti pertanian, perkebunan dan juga urbanisasi (Rotinsulu dkk., 2018).

Kajian tentang TBE pada DTA Danau Tondano juga dinyatakan dalam penelitian tahun 2003-2012 pada lokasi Sub DAS Tondano Bagian Timur, dimana 67% luas lahan berada pada TBE kelas sangat berat (Terok dkk., 2012). Penelitian pada tahun 2011 dan 2014, menunjukkan keterkaitan antara sebaran perubahan tutupan lahan (sawah, hutan, pemukiman, semak belukar, dan badan air) mengakibatkan peningkatan laju erosi rerata sebesar 61,56%. (Sorey dkk., 2016). Peningkatan erosi ini akan mempercepat terjadinya pendangkalan yang pada akhirnya akan mengurangi kapasitas tampungan air danau, sehingga pengelolaan lahan pada DTA perlu dilakukan secara holistic agar eksistensi dan fungsi strategis dari danau tetap terjaga (Nugroho, 2005).

Menelaah permasalahan dan hasil-hasil studi terdahulu terkait dengan erosi pada DTA Danau Tondano di atas, maka dirasa perlu untuk dilakukan penelitian mengenai keterkaitan antara perubahan tutupan lahan yang terjadi dan Tingkat Bahaya Erosi (TBE). Analisis TBE dilakukan dengan menghitung laju erosi berdasarkan metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*) yang dibantu sistem informasi geografis (GIS). Studi keterkaitan perubahan tutupan lahan dan TBE ini diharapkan dapat menjadi memberikan informasi yang bermanfaat dalam merencanakan dan melaksanakan upaya-upaya konservasi di DTA Danau Tondano.

## KAJIAN PUSTAKA

### Perhitungan Laju Erosi

Perubahan tutupan lahan umumnya disebabkan oleh rekayasa manusia dalam memenuhi kebutuhannya. Transisi tataguna dan tatakelola ini kerap kali tidak disertai dengan tindakan konservasi sehingga dorongan perubahan lahan kerap mempengaruhi siklus hidrologi dimana

fungsi ekologis daerah tangkapan mengalami penurunan. Keadaan lahan pada DTA Danau Tondano tidak lepas dari fenomena ini. Perubahan fungsi tutupan lahan dari lahan asli hijau menjadi lahan terbangun akan mempengaruhi besarnya laju erosi dan sedimentasi. Erosi merupakan proses terangkutnya serta terjadinya penguraian partikel tanah oleh tenaga geomorfologi (air dan angin) dan juga kemampuan aliran permukaan dalam menggerus permukaan tanah mengikuti gravitasi sampai ke tempat yang lebih rendah atau tempat pengendapan (Aisyah, 2021).

Proses terjadinya erosi yang disebabkan oleh air dibedakan menjadi penggerusan dan pengangkutan oleh butiran air hujan, serta penggerusan dan pengangkutan oleh aliran permukaan (Banuwa, 2013). Terdapat beberapa faktor yang menentukan besarnya laju erosi pada suatu kawasan seperti iklim, topografi, tutupan lahan, dan juga faktor manusia. Salah satu metode yang biasa dipergunakan dalam perhitungan laju erosi adalah metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*) yang dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith tahun 1985. Metode ini memprediksikan erosi permukaan berdasarkan nilai erosivitas hujan, erodibilitas tanah, panjang dan kemiringan lereng, indeks pengelolaan tanaman dan upaya konservasi tanah. Perhitungan tersebut dapat dirumuskan seperti terlihat pada persamaan (1).

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \tag{1}$$

Dengan keterangan,

- 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

Nilai laju erosi terkadang sulit digunakan untuk memberi gambaran mengenai bahaya dari erosi yang terjadi. Gambaran akan perkiraan laju erosi yang akan terjadi pada suatu lahan dapat dirangkum dalam suatu Tingkat Bahaya Erosi (TBE). Penjelasan detail terhadap setiap parameter dalam persamaan (1) dan penentuan TBE akan diuraikan lebih lanjut pada penjelasan di bawah.

### Faktor Erosivitas Hujan (R)

Faktor erosivitas hujan (R) menggambarkan kemampuan curah hujan dalam menahan erosi yang akan terjadi. Perhitungan faktor erosivitas hujan berdasarkan Bols (1978) disampaikan pada persamaan (2) berikut.

$$R_m = 6,119RAIN^{1,21} \times DAYS^{-0,47} \times MAXP^{0,53} \tag{2}$$

dengan keterangan,

- R<sub>m</sub> : Indeks erosivitas hujan bulanan
- RAIN : Curah hujan bulanan (cm)
- DAYS : Jumlah hari hujan bulanan (hari)
- MAXP: Hujan harian maksimum pada bulan tersebut (cm)

$$R = \sum_{m=1}^{12} (R_m) \tag{3}$$

dengan keterangan,

- R : Erosivitas curah hujan tahunan rata-rata = jumlah R<sub>m</sub> selama 12 bulan

**Faktor Erodibilitas Tanah (K)**

Erodibilitas merupakan gambaran kepekaan tanah terhadap tingkat erosi. Nilai erodibilitas suatu tanah tidak hanya dipengaruhi oleh sifat fisik, kimia, maupun karakteristik profil tanah tersebut tetapi juga dipengaruhi oleh faktor erosivitas, topografi, vegetasi, dan bentuk kegiatan manusia di area tersebut. Dalam penerapannya, nilai erodibilitas tanah disederhanakan sebagai gambaran atas pengaruh sifat tanah terhadap laju infiltrasi, kapasitas, dan permeabilitas serta pengaruh terhadap bentuk fisik tanah dan tingkat kesuburannya (Dariah dkk, 2004). Lebih lanjut, nilai erodibilitas tanah ini kemudian diklasifikasikan berdasarkan jenis tanah seperti disajikan pada Tabel 1.

*Tabel 1. Jenis Tanah dan Nilai Erodibilitas Tanah (K)*

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

**Faktor Panjang (L) dan Kemiringan Lereng (S)**

Unsur topografi yang diperlukan dalam menentukan kehilangan volume tanah akibat erosi adalah kemiringan lereng dan panjang lereng dari lahan. Kemiringan lereng dapat dihitung menggunakan persamaan (4).

$$S = \left(\frac{s}{9}\right)^{1,4} \tag{4}$$

dengan keterangan,

S : kemiringan lereng dalam % dibagi 100

Lebih lanjut, faktor kemiringan lereng (S) diklasifikasikan berdasarkan kelas kemiringan lereng sebagaimana dimuat pada Tabel 2.

*Tabel 2. Nilai Faktor Lereng*

Kelas Lereng	Kemiringan %	Rata-rata Nilai S
I	0-8	0,4
II	8-15	1,5
III	15-25	3,17
IV	25-40	6,17
V	> 40	11,19

Sementara itu, faktor panjang lereng (L) dapat dianalisis menggunakan persamaan (5) berikut.

$$L = \sqrt{\frac{L_0}{22}} \tag{5}$$

dengan keterangan,

L : nilai faktor panjang lereng (unit metrik)

L<sub>0</sub> : panjang lereng (m)

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

Faktor vegetasi dan pengelolaan lahan menggambarkan dampak bentuk aktivitas manusia dan pengelolaannya terhadap tingkat erosi tanah yang mungkin terjadi (Herawati, 2010). Penentuan faktor ini sebaiknya didasarkan atas pengamatan lapangan atau informasi mengenai teknik atau metode pertanian yang digunakan. Secara umum, nilai C suatu lahan dapat ditentukan berdasarkan jenis tutupan lahan sebagaimana dirangkum pada Tabel 3. Sementara untuk penentuan nilai P, ditentukan dari interpretasi jenis tanaman dari tata guna lahan yang diamati seperti disajikan dalam Tabel 4.

*Tabel 3. Nilai C untuk Berbagai Bentuk Tutupan Lahan*

No	Tutupan Lahan	Nilai C	Sumber
1	Hutan Lahan Kering Primer	0,001	Asdak (1995)
2	Hutan Lahan Kering Sekunder	0,005	Sinaga dkk. (2014)
3	Belukar	0,30	Isma dkk. (2016)
4	Pemukiman	1,00	Asdak (1995)
5	Tanah Terbuka	1,00	
6	Badan Air	0,01	
7	Pertanian Lahan Kering	0,19	
8	Pertanian Lahan Kering Campur	0,28	Isma dkk. (2016)
9	Sawah	0,01	

*Tabel 4. Nilai P untuk Berbagai Konservasi Lahan (Arsyad, S. 2010)*

No	Tindakan Konservasi	Nilai P
1	Teras Bangku	
	Konstruksi Baik	0,04
	Konstruksi Sedang	0,15
	Konstruksi Kurang Baik	0,35
	Teras Tradisional	0,40
2	Strip Tanaman Rumput Bahia	0,40
3	Pengelolaan Tanah dan Penanaman menurut Garis Kontur	
	Kemiringan 0-8%	0,50
	Kemiringan 9-20%	0,75
	Kemiringan lebih dari 20%	0,90
4	Tanpa Tindakan Konservasi	1,00

**Tingkat Bahaya Erosi**

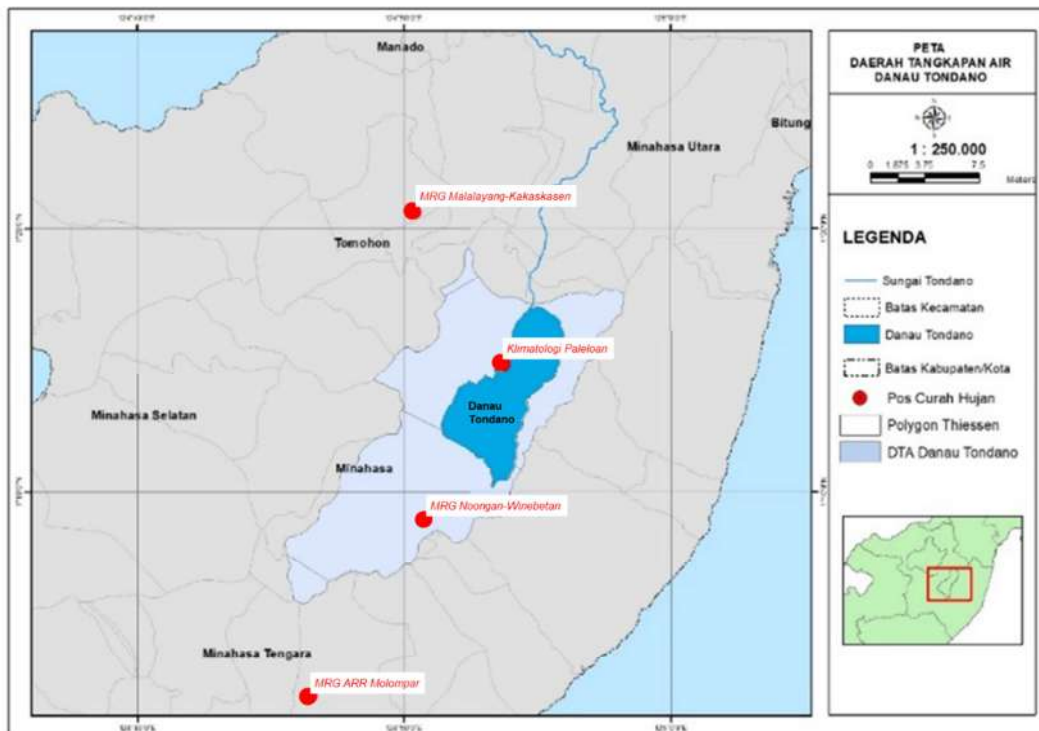
Bahaya erosi di suatu kawasan dapat ditetapkan berdasarkan Tingkat Bahaya Erosi (TBE) yang terklasifikasi menjadi 5 kelas. Klasifikasi kelas bahaya erosi ditetapkan berdasarkan standar dari United States Department of Agriculture (USDA) yang diadopsi di dalam Pedoman Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan Dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RtkRHL-DAS) tahun 2009. Menurut pedoman tersebut, kelas bahaya erosi dapat diklasifikasikan seperti tersaji pada Tabel 5.

Tabel 5. Klasifikasi Kelas Bahaya Erosi (Arsyad, 2006)

Kelas Bahaya Erosi	Laju erosi (ton/ha/tahun)	Keterangan
I	<15	Sangat ringan
II	15-60	Ringan
III	60-180	Sedang
IV	180-480	Berat
V	>480	Sangat Berat

## METODE PENELITIAN

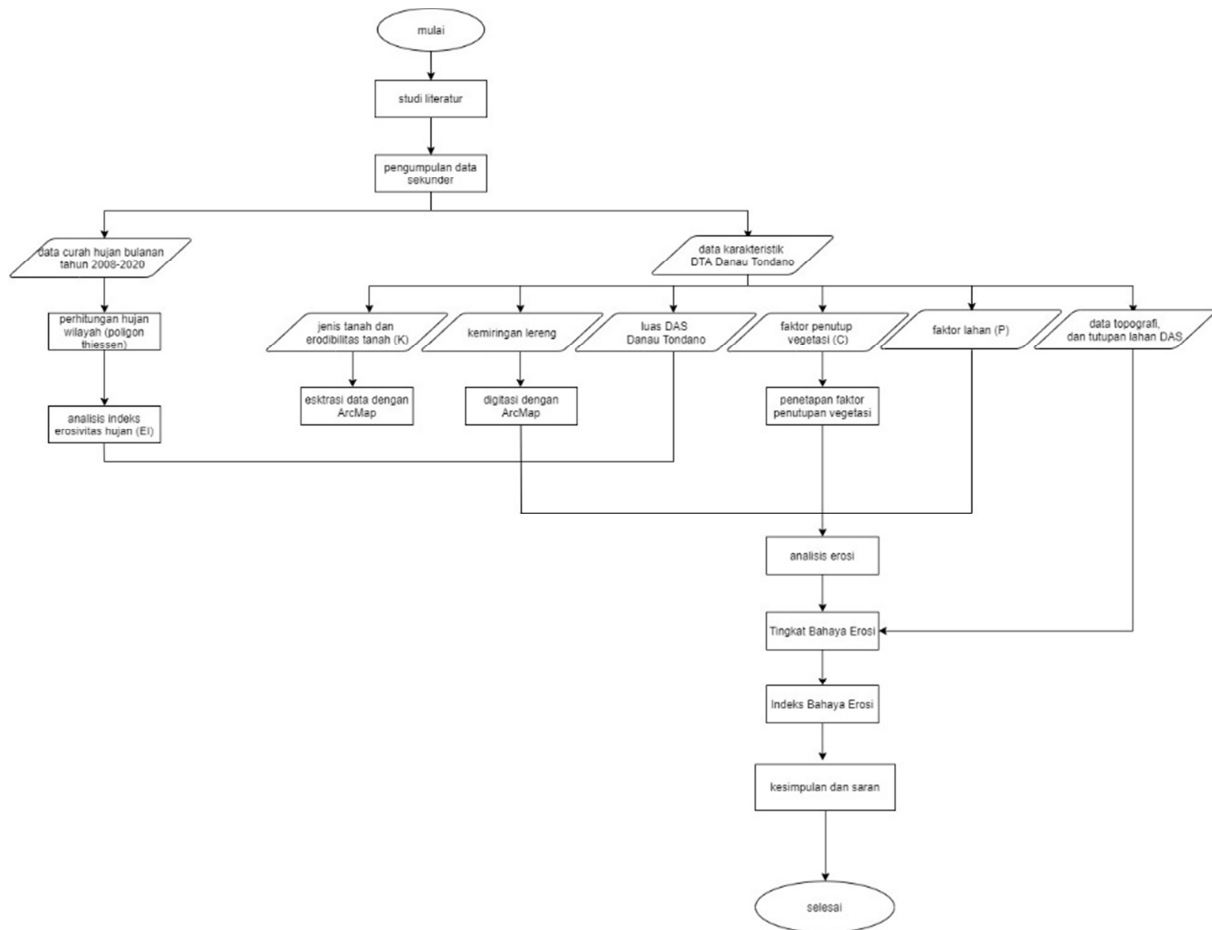
Daerah kajian pada penelitian dilakukan pada DTA Danau Tondano yang merupakan bagian hulu DAS Tondano dengan luas 186,62 km<sup>2</sup>. Pada DTA Danau Tondano terdapat empat pos hujan yaitu pos hujan Malalayang-Kakaskasen, pos hujan Klimatologi Paleloan, pos hujan Noongan-Winebetan, dan pos hujan Molompar-Rasi yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta DTA Danau Tondano

Rangkaian analisis yang dilakukan pada studi ini tergambar pada Gambar 2. Tahap awal dari studi adalah pengumpulan dan penelusuran studi literatur yang terkait dengan daerah studi, serta pengumpulan data yang diperlukan untuk analisis. Data curah hujan yang dipergunakan dalam penelitian memiliki rentang waktu tahun 2008-2020 yang diperoleh dari Balai Sungai Sulawesi I. Sementara itu, data karakteristik DTA Danau Tondano berupa peta jenis tanah dan tutupan lahan DAS Tondano diperoleh dari BPDASHL Tondano. Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan dan parameter USLE. Perhitungan laju erosi menggunakan metode USLE. Pengolahan dan perhitungan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak berbasis lembar kerja (spreadsheet) dan perangkat lunak GIS ArcMap 10.5. Hasil

perhitungan laju erosi kemudian dikorelasikan dengan perubahan tutupan lahan, dan dilanjutkan dengan pengklasifikasian untuk menentukan tingkat bahaya erosi.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

## ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### Perubahan Tutupan Lahan DTA Danau Tondano

Tutupan lahan pada lokasi penelitian dibagi menjadi sembilan kelas tutupan lahan, yaitu hutan lahan kering primer, hutan lahan kering sekunder, belukar, pemukiman, badan air, pertanian lahan kering, pertanian lahan kering campur, sawah, dan tanah terbuka. Berdasarkan data tutupan lahan pada rentang tahun 2008 dan 2020, DTA Danau Tondano mengalami perubahan luas tutupan lahan, baik berupa penambahan maupun pengurangan luas lahan. Pada periode tersebut, tutupan lahan yang mengalami penambahan paling besar adalah sawah dengan penambahan seluas 4.414,476 Ha atau meningkat sebesar 29,52%. Peningkatan luas tutupan lahan berikutnya adalah lahan pemukiman, hutan lahan kering primer, tanah terbuka, dan badan air. Sementara itu, penurunan luas lahan terbesar terjadi pada lahan pertanian lahan kering dengan persentase penurunan sebanyak 40,67% atau seluas 6.082,573 Ha. Penurunan lainnya terjadi pada lahan pertanian lahan kering campur, belukar, dan hutan lahan kering sekunder dengan luas masing-masing 12,60%, 7,99%, dan 1,30%. Informasi perubahan tutupan lahan yang terjadi pada rentang waktu tersebut dapat dilihat pada Tabel 6. Fenomena perubahan luasan yang terjadi pada berbagai tutupan lahan ini menjelaskan bahwa pada periode tersebut terjadi peningkatan kebutuhan atau aktivitas masyarakat setempat yang ditandai dengan adanya peningkatan pada lahan sawah dan kawasan pemukiman.

Tabel 6. Perubahan Tutupan Lahan pada DTA Danau Tondano Periode tahun 2008-2020

Jenis Penggunaan dan Tutupan Lahan DTA Danau Tondano	Luasan				Perubahan Jumlah Luasan Lahan*	
	Tahun 2008 (Ha)	Persen (%)	Tahun 2020 (Ha)	Persen (%)	Ha	%
Hutan Lahan Kering Primer	52,70	0,28	249,44	1,34	196,740	+1,32
Hutan Lahan Kering Sekunder	535,80	2,87	340,68	1,83	-195,123	-1,30
Belukar	1336,81	7,16	141,24	0,76	-1195,566	-7,99
Pemukiman	721,50	3,87	1542,26	8,26	820,764	+5,49
Tanah Terbuka	0,00	-	156,37	0,84	164,051	+1,10
Badan Air	120,48	0,65	121,44	0,65	0,954	+0,01
Pertanian Lahan Kering	12023,38	64,43	5940,81	31,83	-6082,573	-40,67
Pertanian Lahan Kering Campur	642,67	3,44	2526,63	13,54	-1883,956	-12,60
Sawah	3228,80	17,30	7643,28	40,96	4414,476	+29,52
Total	18662,15	100	18662,15	100		100

Keterangan : \*) tanda positif (+) menunjukkan penambahan luas, tanda minus (-) menunjukkan penurunan luas tutupan lahan

### Analisis Curah Hujan

Pada DTA Danau Tondano terdapat empat pos hujan yang memiliki pengaruh terhadap debit inflow Danau Tondano. Setiap pos hujan memiliki faktor bobot yang berbeda sehingga perlu ditetapkan suatu nilai curah hujan wilayah yang dapat mewakili kejadian hujan pada DTA Danau Tondano. Berdasarkan metode Poligon Thiessen, diperoleh persentase bobot dari masing-masing pos hujan seperti tersaji pada Tabel 7.

Tabel 7. Persentase Luas Wilayah Empat Pos Hujan

Pos Curah Hujan DTA Danau Tondano	Luas		Bobot (%)
	Ha	Km <sup>2</sup>	
Malalayang - Kakaskasen	261,361	2,613	1
Klimatologi Paleloan	7988,961	79,889	43
Noongan - Winebetan	9882,329	98,823	53
Molompar - Rasi	529,348	5,293	3
Total	18662	186,62	100

### Analisis Laju Erosi

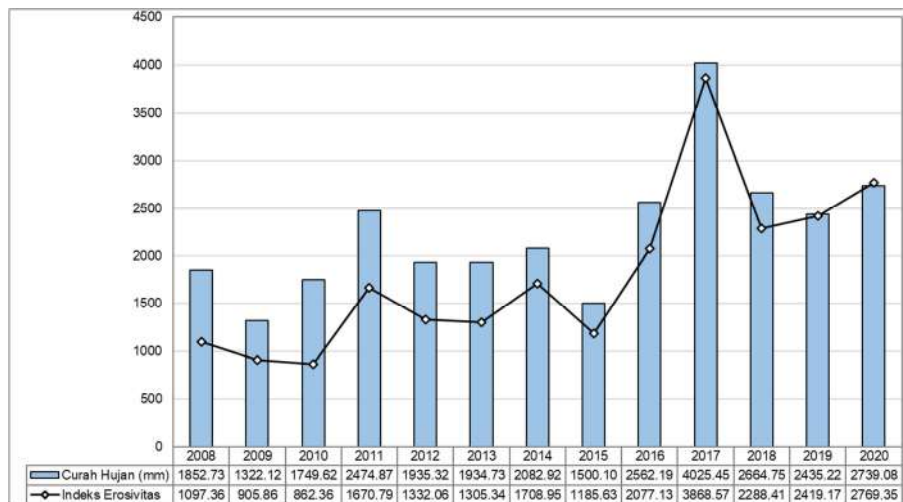
Pendugaan laju erosi pada DTA Danau Tondano dianalisis menggunakan Metode USLE, dimana parameter yang diperhitungkan meliputi erosivitas hujan, erodibilitas tanah, kemiringan dan panjang lereng serta pengelolaan tanaman dan konservasi tanah. Hasil dan analisis dari masing-masing parameter diuraikan sebagai berikut.

### Erosivitas Hujan

Nilai erosivitas dihitung berdasarkan persamaan Bols (1978) dengan menggunakan nilai curah hujan tahunan wilayah. Curah hujan tahunan tertinggi sebesar 4.025,45 mm/tahun terjadi pada tahun 2017 yang menghasilkan erosivitas hujan (R) sebesar 3.868,57 MJ.cm/ha.jm/th. Gambar 3 menyajikan keterkaitan antara besar curah hujan tahunan terhadap indeks erosivitas yang akan terjadi, dimana terlihat bahwa curah hujan berkorelasi terhadap nilai erosivitas yang terjadi. Hal



ini menggambarkan semakin banyak partikel tanah yang akan terlepas karena energi kinetik hujan yang tinggi.



Gambar 3. Indeks Erosivitas Hujan terhadap Curah hujan pada DTA Danau Tondano

### Erodibilitas Tanah

Pengklasifikasian jenis tanah menggunakan sistem *soil taxonomy* USDA (1975), dan *soil survey staff* (1999 dan 2003) merupakan penamaan jenis tanah yang dibuat berdasarkan kelompok asosiasi tanah. Pengelompokan tanah ini didasarkan pada kemiripan sifat bahan induk, berhubungan secara geografis, serta tersebar di dalam satu satuan peta sesuai pola tertentu. Nilai erodibilitas pada daerah studi ditetapkan berdasarkan data jenis tanah yang didapatkan dari BPDASHL Tondano. Nilai erodibilitas tanah (K) setiap jenis tanah diperoleh dari berbagai sumber yang dirangkum pada Tabel 1. Erodibilitas tanah seluruh DTA ditetapkan menggunakan pembobotan berdasarkan luas masing-masing jenis tanah. Hasil analisis menunjukkan nilai erodibilitas tanah pada DTA Danau Tondano berkisar antara 0,16 sampai 0,28, dengan nilai rata-rata 0,20. Hasil perhitungan nilai erodibilitas pada setiap jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 8.

### Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng

Panjang dan kemiringan lereng juga mempengaruhi laju erosi pada suatu kawasan. Lereng yang curam menyebabkan peningkatan aliran permukaan yang memperbesar kemungkinan terjadinya erosi lahan. Nilai LS pada DTA Danau Tondano berupa sebaran lereng lahan dengan persentasi kelandaian sebagaimana terangkum pada Tabel 8. Berdasarkan nilai klasifikasi tersebut, DTA Tondano didominasi oleh daerah dengan kelandaian lebih besar dari 40%. Perhitungan faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) dilakukan dengan pembobotan sesuai luasan lahan sehingga diperoleh nilai faktor LS sebesar 0,496. Sebaran dan persentase nilai LS disajikan dalam Tabel 8.

### Faktor Pengelolaan Tanaman dan Konservasi Tanah

Nilai C dan P merupakan ketetapan atau koefisien yang mewakili faktor pengelolaan tanaman dan konservasi tanah yang mempengaruhi prediksi laju erosi menurut USLE. Besaran nilai C dan P dilihat dari bentuk tutupan lahan pada DTA Danau Tondano. Pada studi ini, nilai P diasumsikan pada kondisi belum adanya konservasi pada DTA Danau Tondano. Penetapan faktor C dan P ditampilkan pada

Tabel 9.

Tabel 8. Nilai K dan LS DTA Danau Tondano

Asosiasi Jenis Tanah DTA Danau Tondano		Luas (A) (Ha)	Erodibilitas Lahan (K)			Panjang dan Kemiringan Lereng				
			Nilai K	A × K	Kelan- daian (%)	Nilai S (%)	Panjang Lereng (m)	Nilai L (m)	Nilai LS	LS × A
Dystrandeps, Hydrandeps	Humitropepts	1846,37	0,28	516,98	50,5	11,186	150,5	2,62	0,878	1620,23
Humitropepts, Tropohumult	Dystropepts	397,12	0,18	71,48	50,5	11,186	150,5	2,62	0,878	348,48
Humitropepts, Tropohumult	Dystropepts	3105,40	0,18	558,97	50,5	11,186	150,5	2,62	0,878	2725,05
Tropudults, Troportents	Dystropepts	254,77	0,18	45,86	50,5	11,186	150,5	2,62	0,878	223,57
Tropudults, Troportents	Dystropepts	124,67	0,18	22,44	50,5	11,186	150,5	2,62	0,878	109,40
Tropudults, Troportents	Dystropepts	210,78	0,18	37,94	50,5	11,186	150,5	2,62	0,878	184,96
Ustepts	Udepts	24,51	0,23	5,64	50,5	11,186	150,5	2,62	0,878	21,51
Ustepts	Udepts	406,85	0,23	93,57	50,5	11,186	150,5	2,62	0,878	357,01
Ustepts	Udepts	259,86	0,23	59,77	50,5	11,186	150,5	2,62	0,878	228,03
Ustepts	Udepts	339,03	0,23	77,98	50,5	11,186	150,5	2,62	0,878	297,51
Fluvaquents	Tropaquepts	5087,06	0,19	966,54	5	0,439	50	1,51	0,166	845,04
Eutropepts		814,12	0,16	130,26	20,5	3,166	350,5	3,99	0,482	392,34
Humitropepts, Tropudalfs	Dystropepts	68,44	0,23	15,74	12	1,496	500	4,77	0,386	26,45
Eutropepts	Distrandeps	434,58	0,24	104,30	37,5	7,374	350,5	3,99	0,799	347,29
Dystrandeps, Hydrandeps	Humitropepts	31,00	0,28	8,68	50,5	11,186	150,5	2,62	0,878	27,21
Fluvaquents	Tropaquepts	1958,29	0,19	372,07	5	0,439	50	1,51	0,166	325,30
Eutropepts	Distrandeps	471,64	0,24	113,19	33	6,166	350,5	3,99	0,708	334,15
Eutrandeps	Eutropepts	127,83	0,19	24,29	12	1,496	350,5	3,99	0,354	45,20
Tropudalfs, Tropudults	Dystropepts	162,39	0,21	34,10	20,5	3,166	150,5	2,62	0,390	63,35
Tropudalfs, Tropudults	Dystropepts	1465,71	0,21	307,80	20,5	3,166	150,5	2,62	0,390	571,78
Eutrandeps	Eutropepts	2581,52	0,19	490,49	12	1,496	350,5	3,99	0,354	912,81
Eutropepts		466,73	0,16	74,68	20,5	3,166	350,5	3,99	0,482	224,92
Dystrandeps	Eutropepts	78,99	0,24	18,96	33	6,166	75	1,85	0,482	38,06
Jumlah		20.717,67		4.151,74					14,81	10.269,67
<b>Nilai yang digunakan</b>			<b>K = 0,200</b>			<b>LS = 0,496</b>				

Tabel 9. Penggunaan Lahan dan Indeks C DTA Danau Tondano

Tutupan Lahan	Nilai C	Luasan Tutupan Lahan											
		2008		2009		2011		2017		2018		2020	
		A	C × A	A	C × A	A	C × A	A	C × A	A	C × A	A	C × A
Hutan Lahan Kering Primer	0,001	53	0,05	299	0,30	299	0,30	249	0,25	249	0,25	249	0,25
Hutan Lahan Kering Sekunder	0,005	536	2,68	434	2,17	396	1,98	339	1,70	340	1,70	341	1,70
Belukar	0,30	1337	401,04	1446	433,88	1445	433,50	1447	433,95	1447	433,95	141	42,37
Pemukiman	1,00	722	721,50	732	732,37	730	730,00	1062	1061,75	1062	1061,75	1542	1542,26
Tanah Terbuka	1,00	0	-	47	47,16	47	47,00	97	97,03	97	97,03	156	156,37
Badan Air	0,01	120	1,20	120	1,20	120	1,20	120	1,20	120	1,20	121	1,21
Pertanian Lahan Kering	0,19	12023	2284,44	11377	2161,54	11379	2162,04	11408	2167,51	5967	1133,78	5941	1128,75
Pertanian Lahan Kering Campur	0,28	643	179,95	970	271,48	1009	282,52	1204	337,10	1203	336,82	2527	707,46
Sawah	0,01	3229	32,29	3236	32,36	3237	32,37	2736	27,36	8176	81,76	7643	76,43
Total		18662	3623	18662	3682	18662	3691	18662	4127,8	18662	3148	18662	3657

Nilai yang digunakan	0,194	0,197	0,198	0,221	0,169	0,196
----------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

## Penentuan Laju Erosi

Laju erosi pada DTA Danau Tondano dihitung secara analitis menggunakan metode USLE sebagaimana tertulis pada persamaan (1). Perhitungan laju erosi dilakukan pada periode 2008 hingga 2020 pada setiap jenis tutupan lahan. Hasil perhitungan metode USLE ini ditunjukkan pada Tabel 10. Secara umum, hasil analisis menunjukkan terjadinya fluktuasi laju erosi dengan kecenderungan terjadi peningkatan. Laju erosi total terbesar tercatat pada tahun 2017 dengan total laju erosi sebesar 7.486 ton/ha/tahun. Peningkatan ini disebabkan terjadinya hujan tahunan yang besar sehingga memperbesar nilai erosivitas hujan. Apabila ditinjau berdasarkan jenis tutupan lahan, lahan pemukiman memberi sumbangsih terbesar terhadap total laju erosi yang terjadi. Peninjauan lebih lanjut menunjukkan bahwa faktor tinggi curah hujan, faktor tanaman, dan konservasi lahan sangat memberikan hubungan langsung terhadap besarnya erosi

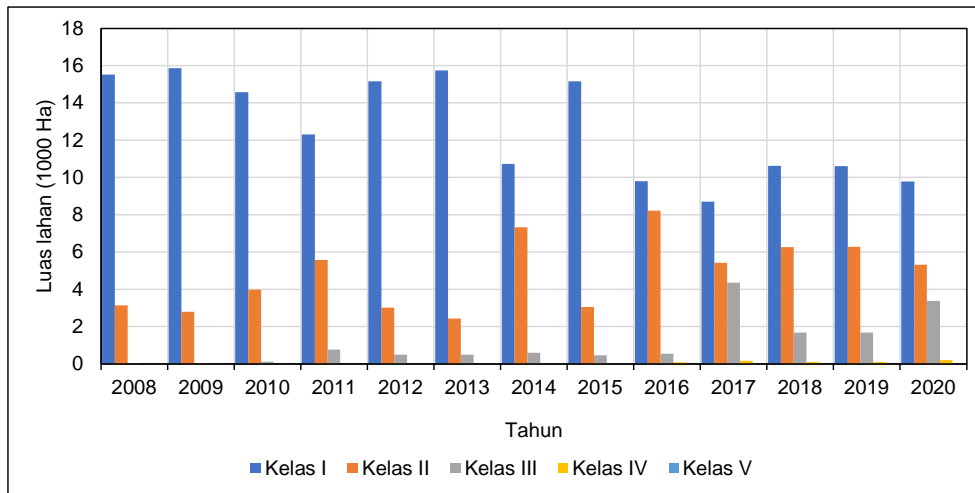
Lebih lanjut, hasil perhitungan laju erosi ini dikelompokkan ke dalam kelas bahaya erosi sesuai klasifikasi pada Tabel 5. Hasil klasifikasi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 menunjukkan bahwa terjadi perubahan pada luasan kelas bahaya erosi. Walaupun DTA Danau Tondano masih didominasi oleh daerah dengan klasifikasi kelas I, namun luasan daerah yang terklasifikasi ke dalam kelas bahaya erosi kelas II (Ringan) dan III (Sedang) memiliki kecenderungan bertambah.

Tabel 10. Laju erosi pada setiap tutupan lahan

Tutupan Lahan	Laju Erosi (ton/ha/tahun)												
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Hutan Lahan Kering Primer	0,0	1,8	1,1	2,6	2,4	2,5	2,2	2,1	2,0	0,3	0,1	0,2	0,2
Hutan Lahan Kering Sekunder	3,0	43,1	27,3	38,6	33,4	33,9	34,4	29,3	35,8	5,5	3,2	3,4	3,8
Belukar	347,9	456,3	389,1	716,4	581,4	573,8	714,0	515,6	845,8	1418,6	839,3	885,5	305,2
Pemukiman	1299,3	1050,2	1166,8	2107,5	1607,4	1545,9	2296,6	1442,7	2958,6	4084,3	2599,6	2725,1	3836,3
Tanah Terbuka	0,0	0,0	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1	1,1	1,3	1,2	1,1	2,4	21,9
Badan Air	2,5	1,9	2,1	3,8	2,9	2,8	4,1	2,6	5,2	10,2	12,1	12,7	8,0
Pertanian Lahan Kering	421,9	492,4	399,1	800,0	661,0	657,1	776,0	584,3	892,4	1315,7	711,0	743,8	804,2
Pertanian Lahan Kering Campur	230,4	276,5	190,8	588,0	513,9	521,7	517,5	449,7	528,8	631,3	369,9	393,6	1013,4
Sawah	10,6	9,5	7,4	15,9	13,3	13,3	15,0	11,7	16,9	18,8	27,1	28,8	32,4
TOTAL	2316	2332	2186	4274	3417	3352	4361	3039	5287	7486	4563	4796	6025

## Korelasi Perubahan Tutupan Lahan terhadap Laju Erosi

Tutupan lahan atau vegetasi memiliki peran penting dalam aliran permukaan dan laju erosi tanah. Vegetasi berfungsi sebagai pelindung tanah terhadap daya rusak oleh energi kinetik yang ditimbulkan saat air hujan turun. Konversi lahan vegetasi menjadi lahan terbangun atau tanah terbuka akan meningkatkan laju erosi yang terjadi (Taslim dkk., 2019). Dengan demikian, peningkatan laju erosi sebagaimana disampaikan sebelumnya akan terkorelasi erat dengan perubahan tutupan lahan pada DTA Danau Tondano, sebagaimana telah dirangkum pada Tabel 6. Penilaian korelasi antara perubahan tutupan lahan dan laju erosi juga dapat ditampilkan dalam bentuk nilai koefisien korelasi sebagaimana disajikan pada Tabel 11.



Gambar 4. Sebaran Luas dan laju erosi yang terjadi pada DTA Danau Tondano

Tabel 11. Koefisien korelasi tutupan lahan dan laju erosi

Tutupan Lahan	Korelasi
Hutan Lahan Kering Primer	0,65
Hutan Lahan Kering Sekunder	0,22
Belukar	0,39
Pemukiman	0,76
Tanah Terbuka	0,75
Badan Air	0,14
Pertanian Lahan Kering	-0,12
Pertanian Lahan Kering Campur	0,82
Sawah	0,88

Berdasarkan penilaian korelasi tersebut, jenis tutupan sawah, pertanian lahan kering campur, pemukiman, tanah terbuka, dan hutan tanah kering primer merupakan tutupan lahan yang berkorelasi tinggi (dengan nilai korelasi >0,6) dengan peningkatan laju erosi pada DTA Danau Tondano, secara berurutan. Sementara itu, tutupan lahan yang tidak berkorelasi dengan perubahan laju erosi adalah badan air dan pertanian lahan kering (dengan nilai korelasi mendekati nol).

Jika disandingkan dengan perubahan luas lahan yang terjadi, penambahan luas sawah sejalan dengan nilai koefisien korelasi tertinggi terhadap peningkatan laju erosi pada DTA Danau Tondano. Sementara itu, walaupun pertanian lahan kering mengalami penurunan luas terbesar selama periode 2008-2020, namun perubahan ini tidak berkorelasi dengan perubahan laju erosi pada DTA Danau Tondano, ditunjukkan dengan nilai korelasi mendekati nol. Hal ini disebabkan karena perubahan pertanian lahan kering ini menjadi daerah yang lebih rentan terhadap erosi seperti pemukiman dan lahan terbuka. Informasi terkait korelasi antara perubahan tutupan lahan dan laju erosi ini memungkinkan dipilih dan ditetapkannya upaya konservasi yang sesuai untuk mengendalikan laju erosi lahan pada DTA Danau Tondano ini.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Selama periode 2008-2020, DTA Danau Tondano mengalami perubahan luasan tutupan lahan, baik penambahan maupun pengurangan luas tutupan lahan. Penambahan lahan terbesar terjadi pada lahan sawah seluas 4.414,476 Ha, diikuti lahan pemukiman seluas 820,764 Ha, hutan lahan kering primer seluas 196,740 Ha, tanah terbuka seluas 164,051 Ha, dan badan air seluas 0.954 Ha. Penurunan luas tutupan lahan terjadi pada pertanian lahan kering seluas 6.082,573 Ha, diikuti oleh lahan pertanian lahan kering campur, belukar, dan hutan lahan kering sekunder dengan luas 1883,956 Ha, 1195,56 Ha, dan 195,123 Ha, secara berurutan.
2. Dalam periode tahun 2008-2020 terjadi peningkatan laju erosi pada DTA Danau Tondano, dimana pada tahun 2017 terjadi dengan nilai erosi tertinggi sebesar 7565.7835 ton/ha/tahun. Hal ini disebabkan hujan tahunan yang lebih besar sehingga meningkatkan faktor erosivitas hujan.
3. Berdasarkan klasifikasi tingkat bahaya erosi (TBE), wilayah DTA Danau Tondano masih didominasi oleh lahan pada TBE kelas I atau kategori sangat ringan. Namun, hasil studi menunjukkan luas lahan TBE kelas I ini mengalami penurunan yang diimbangi dengan peningkatan luas lahan TBE kelas lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa erosi pada DTA Danau Tondano bertambah parah.
4. Perubahan tutupan lahan pada DTA Danau Tondano memiliki korelasi terhadap peningkatan laju erosi. Korelasi terbesar ditunjukkan oleh lahan sawah, pertanian lahan kering campur, pemukiman, tanah terbuka, dan hutan tanah kering primer dengan nilai korelasi lebih besar dari 0,6. Sementara, penurunan luasan lahan pertanian kering tidak berkorelasi terhadap laju erosi karena berubah menjadi tutupan lahan yang memiliki potensi erosi lebih tinggi.
5. Peningkatan laju erosi yang disebabkan oleh perubahan tutupan lahan pada DTA Danau Tondano perlu dikendalikan agar tidak memperburuk sedimentasi pada Danau Tondano. Upaya pengendalian erosi dapat dilakukan melalui konservasi lahan DTA.

Guna menyempurnakan hasil penelitian, penulis menyarankan dilakukannya pengukuran laju erosi dan sedimentasi di lapangan sebagai data kalibrasi sehingga, dan perlu dilakukan analisis mendetail pada masing-masing faktor penyebab erosi sehingga dapat ditetapkan korelasi antara faktor geomorfologi DAS terhadap laju erosi yang terjadi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, penulis bermaksud menyampaikan terima kasih kepada Balai Wilayah Sungai Sulawesi I dan BPDASHL Tondano yang telah menyediakan data dalam penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih atas dukungan dana penelitian dari Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Katolik Parahyangan berdasarkan surat perjanjian nomor: III/LPPM/2021-08/156-P.

## Daftar Pustaka

- Arsyad, S. (2006). *Konservasi Tanah dan Air*. Penerbit IPB; Bogor.
- Arsyad, S. (2010). *Konservasi Tanah dan Air, Edisi ke-2*. Penerbit IPB; Bogor.
- Arsyad, U., Barkey, R. A., Wahyuni, W., dan Matandung, K.K. (2018). Karakteristik Tanah Longsor di Daerah Aliran Sungai Tangka. *Jurnal Hutan Dan Masyarakat*. 10(1). 203.

- Aisyah, B.N. (2021). *Pendugaan Erosi dan perencanaan Tutupan Lahan di Hulu DAS Jeneberang. Provinsi Sulawesi Selatan*. Thesis.
- Dariah, A., Subagyo, H., Tafakresnanto, C., dan Marwanto, S. (2004). Kepekaan Tanah Terhadap Erosi. *Teknologi Konservasi Tanah Pada Lahan Kering Berlereng*. 7-30.
- Herawati, T. (2010). Analisis Spasial Tingkat Bahaya Erosi Di Wilayah DAS Cisadane Kabupaten Bogor (Spatial Anlysis of Erosion Danger Level at Cisadane Watershed Area Bogor District). *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. Vol. VII (4). 413-424.
- Hikmatullah, Subagyo, H., Kurnia, U., dan Amien, L. I. (2000). Evaluasi Erosi dan Siltasi Danau Tondano Berdasarkan Sifat Hidrologi dan Tanah dari Daerah Aliran Sungainya. *Jurnal Tanah Dan Iklim*. 18. 13–25.
- 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*. 4(01). 25-36.
- Nugroho, S. (2005). Analisis dan Evaluasi Kerusakan Lahan di Daerah Aliran Sungai Danau Tondano. Provinsi Sulawesi Utara. In *Alami: Jurnal Teknologi Reduksi Risiko Bencana* (Vol. 10. Issue 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*. 1(5). 309–317.
- 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)*. 8(2). 161–169.
- Silalahi, R.R., Supriadi, dan Razali. (2017). Pemetaan Tingkat Bahaya Erosi Sub DAS Petani Sumatera Utara. *Jurnal Agroekoteknologi*. 5(1). 185-193
- Taslim, R.K., Mandala, M., dan Indarto. (2019). Pengaruh Luas Penggunaan Lahan Terhadap Laju Erosi: Studi Pada Beberapa DAS di Wilayah Tapal Kuda Jawa Timur. *Jurnal of Watershed Management Research*. 3(2). 141-158.
- 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.