

**ANALISIS PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP TINGKAT  
BAHAYA EROSI MENGGUNAKAN METODE RUSLE DI DAS WAY  
RATAI, KABUPATEN PESAWARAN TAHUN 2019 DAN 2023**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**VANNY FADHILLAH PUSPITA NINGRUM  
(2015071059)**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2024**

**ANALISIS PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP TINGKAT  
BAHAYA EROSI MENGGUNAKAN METODE RUSLE DI DAS WAY  
RATAI, KABUPATEN PESAWARAN TAHUN 2019 DAN 2023**

**Oleh:  
VANNY FADHILLAH PUSPITA NINGRUM  
(2015071059)**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik**

**Pada**

**Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

### ANALISIS PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP TINGKAT BAHAYA EROSI MENGGUNAKAN METODE RUSLE DI DAS WAY RATAI, KABUPATEN PESAWARAN TAHUN 2019 DAN 2023

Oleh

VANNY FADHILLAH PUSPITA NINGRUM

Daerah Aliran Sungai (DAS) Way Ratai termasuk dalam titik rawan longsor dan erosi. Erosi terjadi peningkatan salah satunya akibat kerusakan di DAS yang disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya perubahan penggunaan lahan. Oleh karena itu, dilakukan penelitian ini untuk menganalisis perubahan penggunaan lahan sebagai faktor terhadap tingkat bahaya erosi pada tahun 2019 dan 2023.

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE). Metode ini menggunakan data curah hujan CHIRPS, *Digital Elevation Model* (DEM), data jenis tanah, citra Sentinel 2A dengan proses klasifikasi *machine learning* yaitu *random forest* dan data administrasi. Analisis dilakukan berdasarkan Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.32/MENHUT-II/2009 tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan Dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RTkRHL-DAS).

Perubahan penggunaan lahan di DAS Way Ratai pada tahun 2019 dan 2023 didominasi pada lahan hutan dan lahan perkebunan, dimana luas hutan berkurang 6.506,07 Ha dan luas perkebunan bertambah 6.704,34 Ha. Perubahan tingkat bahaya erosi di DAS Way Ratai pada tahun 2019 dan 2023 sangat besar pada TBE kelas I dan V yaitu pengurangan 25,92% dan peningkatan senilai 25,66%. Sehingga semakin tinggi nilai C dari penggunaan lahan maka akan semakin berpengaruh terhadap nilai laju erosi yang dihasilkan. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengkaji lebih lanjut mengenai spesifikasi kelas penggunaan lahan terutama lahan perkebunan karena dapat memiliki nilai C yang berbeda-beda

**Kata kunci:** DAS Way Ratai, Erosi, Perubahan Penggunaan Lahan, RUSLE

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF LAND USE CHANGE ON THE LEVEL OF EROSION HAZARD USING THE RUSLE METHOD IN WAY RATAI DAS, PESAWARAN DISTRICT IN 2019 AND 2023**

**By**

**VANNY FADHILLAH PUSPITA NINGRUM**

Way Ratai Watershed is a landslide and erosion prone area. Erosion has increased due to watershed damage caused by several factors, one of which is land use change. Therefore this research was conducted to analyze land use change as a factor in the level of erosion hazard in 2019 and 2023. In this research, the researcher used the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) method. This method uses CHIRPS rainfall data, Digital Elevation Model (DEM), soil type data, Sentinel 2A image with machine learning classification process, that is random forest and administrative data. The analysis was conducted based on the Regulation of the Minister of Forestry of the Republic of Indonesia Number: P.32 / MENHUT-II / 2009 concerning Procedures for Preparing Technical Plans for Forest and Land Rehabilitation in Watersheds (RTkRHL-DAS). Land use changes in the Way Ratai watershed in 2019 and 2023 were dominated by forest land and plantation land, where the forest area decreased by 6,506.07 Ha and the plantation area increased by 6,704.34 Ha. Changes in the level of erosion hazard in the Way Ratai watershed in 2019 and 2023 are very large in TBE classes I and V, namely a reduction of 25.92% and an increase of 25.66%. So that the higher the C value of land use, the more it will affect the value of the resulting erosion rate. Future research is expected to further examine the specifications of land use classes, especially plantation land because it can have different C values.

**Keywords:** Erosion, Land Use Change, RUSLE Way Ratai Watershed

## LEMBAR PENGESAHAN

Judul Kerja Praktik : **ANALISIS PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP TINGKAT BAHAYA EROSI MENGGUNAKAN METODE RUSLE DI DAS WAY RATAI KABUPATEN PESAWARAN TAHUN 2019 DAN 2023**

Nama Mahasiswa : **Vanny Fadhillah Puspita Ningrum**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2015071059**

Program Studi : **Teknik Geodesi dan Geomatika**

Fakultas : **Teknik**

**MENYETUJUI**

1. **Komisi Pembimbing**

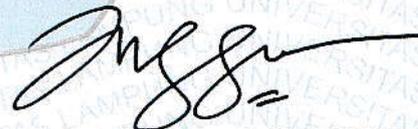
Pembimbing I

Pembimbing II



**Dr. Fajriyanto, S.T., M.T.**

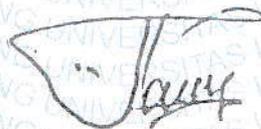
NIP.197203022006041002



**Anggun Tridawati, S.T., M.T.**

NIP.199501302022032016

2. **Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika**



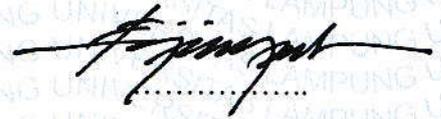
**Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM.**

NIP.196410121992031002

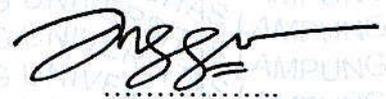
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua : Dr. Fajriyanto, S.T., M.T.**



**Sekretaris : Anggun Tridawati, S.T., M.T.**



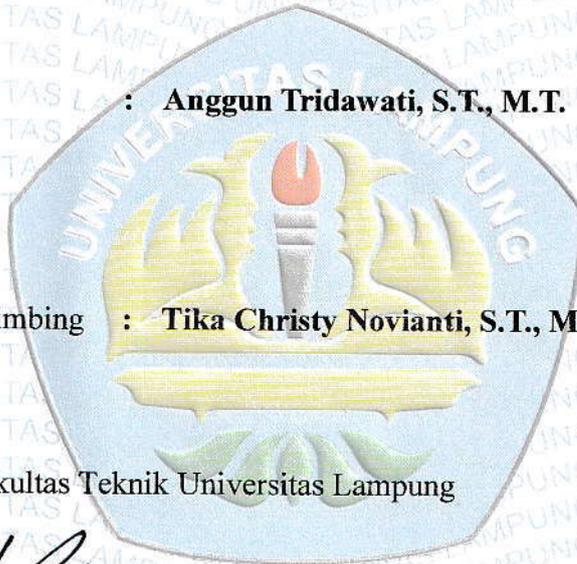
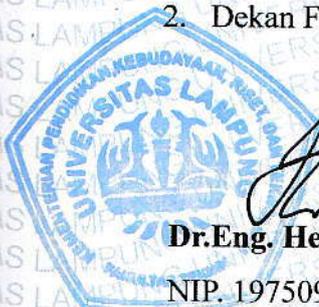
**Penguji  
Bukan Pembimbing : Tika Christy Novianti, S.T., M.Eng.**



**2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung**

**Dr.Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. J**

**NIP. 1975092820011210002**



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 23 Agustus 2024**

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

**Yang bertandatangan di bawah ini:**

Nama : Vanny Fadhillah Puspita Ningrum  
NPM : 2015071059  
Jurusan : Teknik Geodesi dan Geomatika  
Fakultas : Teknik  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Tingkat Bahaya Erosi Menggunakan Metode Rusle di Das Way Ratai Kabupaten Pesawaran Tahun 2019 Dan 2023” ini tidak terdapat karya yang ditulis dan diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dicantumkan dalam naskah. Apabila dikemudian hari ternyata pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi akademis yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya, untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya

Bandar Lampung, 23 Agustus 2024

Yang menyatakan,



Vanny Fadhillah Puspita Ningrum

NPM. 2015071059

## MOTTO

*"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya..."*

~ Q.S Al Baqarah: 286

*"Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri."*

~ Q.S Ar-Ra'd: 11

*"Belajarlh dari kemarin, hiduplah untuk hari ini, berharaplah untuk besok. Yang paling penting adalah tidak berhenti untuk bertanya."*

~ Albert Einstein

*"Belajar hidup mandiri, mengandalkan diri sendiri, adalah cara terbaik untuk bisa memperbesar kapasitas diri dan tanggung jawab"*

~ Merry Riana

*"Dibalik kisah hidup yang mandiri, akan ada kesuksesan menanti"*

~Penulis

*"Bersikaplah selektif dengan waktumu, segala sesuatu yang kamu ingin lakukan seuaikan dengan kapasitasmu"*

~Penulis

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Vanny Fadhillah Puspita Ningrum yang lahir di Bandar Lampung pada 20 Agustus 2002, terlahir sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Sarkam Amijaya dan Ibu Santiana. Dan memiliki adik perempuan yang bernama Varra Lolita Desti Fadhillah.

Penulis memulai pendidikan non-formal Taman Kanak-kanak di TK Al-Bustan selama satu tahun. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan formal ke jenjang Sekolah Dasar di SD Al-Azhar 1 yang berada di Perumnas Way Halim, Bandar Lampung selama 6 tahun. Setelah lulus SD melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Pertama di SMPN 29 Bandar Lampung selama 3 tahun dan lulus pada tahun 2017. Selanjutnya penulis melanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Atas di SMAN 9 Bandar Lampung selama 3 tahun dan lulus pada tahun 2020. Pada tahun 2020 penulis memiliki kesempatan untuk melanjutkan pendidikan ke tingkat Sarjana melalui tes SBMPTN dan lolos pada pilihan pertama yaitu Program Studi S1 Teknik Geodesi Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa penulis mengikuti organisasi tingkat fakultas yaitu Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik tahun 2020 sampai dengan 2021 sebagai eksekutif muda divisi pendidikan dan pengabdian masyarakat. Kemudian lanjut pada tahun 2021 sampai dengan 2022 sebagai staff ahli divisi komunikasi dan informasi. Pada tahun 2023 penulis mengikuti organisasi tingkat jurusan yaitu Himpunan Mahasiswa Geodesi (HIMAGES) sebagai sekretaris departemen hubungan luar.

Pada bulan Juni sampai awal Agustus penulis mengikuti program kampus Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode II tahun 2023 di Desa Padang Manis Kabupaen Pesawaran, dengan program kerja khusus membuat “Peta Desa Padang Manis”. Selanjutnya pada pertengahan bulan Agustus sampai November tahun 2023 penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT. Omni Spasial Strategis (OSSMAP) yang bertempat di Jl. Batununggal Indah V No.38, Batununggal, Kec. Bandung Kidul, Kota Bandung, Jawa Barat. Selama Kerja Praktik penulis melaksanakan pekerjaan terkait penginderaan jauh yaitu pembuatan “3D *Building* menggunakan data LiDAR”.

Penulis melaksanakan penelitian Skripsi di Kabupaten Pesawaran dengan judul “Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Tingkat Bahaya Erosi Menggunakan Metode RUSLE di DAS Way Ratai, Kabupaten Pesawaran Tahun 2019 dan 2019”. Dengan dosen pembimbing I Bapak Dr. Fajriyanto, S.T., M.T. dan dosen pembimbing II Ibu Anggun Tridawati, S.T., M.T.

## PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ

Puji syukur kehadiran Allah SWT. berkat rahmat serta hidayahnya saya dapat menyelesaikan sebuah karya tulis yang sangat istimewa ini dengan penuh semangat dan perjuangan.

Kupersembahkan karya tulis ini kepada :

Kedua orang tua yang selalu memberi dorongan, semangat serta mendoakan aku agar tercapai keberhasilan dan kesuksesanku. Segala kemampuan dan arahan untuk menuntunku mencapai keberhasilan di jenjang pendidikan yang setinggi ini.

Kepada adik, serta saudara-saudaraku yang selalu memberikan dorongan dan bantuan kepadaku agar terselesainya skripsi ini.

## SANWACANA

Alhamdulillah rabbil‘alamin, puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmatnya sehingga saya dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“ANALISIS PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP BAHAYA EROSI MENGGUNAKAN METODE RUSLE DI DAS WAY RATAI, KABUPATEN PESAWARAN TAHUN 2019 DAN 2023”** dengan baik. Skripsi ini disusun guna melengkapi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi bagi mahasiswa Program Studi S1 Teknik Geodesi Universitas Lampung.

Dalam proses penulisan sampai dengan penyusunan Skripsi ini, penulis mendapat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ir. Fauzan Murdapa M.T., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi Geomatika dan Program Studi S1 Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Romi Fadly, S.T., M.Eng. selaku Koordinator Skripsi Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung dan Dosen Pembimbing Akademik.
4. Bapak Dr. Fajriyanto, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan arahan dan telah banyak meluangkan waktu.
5. Ibu Anggun Tridawati S.T., M.T., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan saran dan masukan saat penyusunan skripsi.
6. Ibu Tika Christy Novianti, S.T., M.Eng., yang berkenan menjadi dosen penguji dan memberikan kritik dan saran pada skripsi ini.

7. Seluruh Staff Program Studi Teknik Geodesi yang telah membantu dalam proses kepengurusan berkas selama perkuliahan.
8. Kedua orang tua dan adik yang telah memberikan dukungan serta doa agar segala proses penulis dilancarkan oleh Allah SWT.
9. Teman terdekat penulis Nur Afwan, Fadillah, Firda, Putri, dan Clara yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
10. Rekan-rekan Teknik Geodesi dan Survei Pemetaan Angkatan 2020 yang telah membantu dalam berdiskusi, memberi informasi, dan memberi semangat dalam berproses.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam menyelesaikan skripsi ini, sehingga laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran demi mencapai kesempurnaan. Demikian skripsi ini disusun sebaik-baiknya agar dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Bandar Lampung, 14 Agustus 2024

Penulis



Vanny Fadhillah Puspita Ningrum

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vii</b>
<b>I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Kerangka Pemikiran.....	4
1.7 Hipotesis.....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	6
2.2 Daerah Aliran Sungai (DAS) .....	8
2.3 Penginderaan Jauh.....	9
2.4 Sistem Informasi Geografis (SIG) .....	12
2.5 Penggunaan Lahan .....	12
2.6 Erosi .....	13
2.7 Metode <i>Revised Universal Soil Loss Equation</i> (RUSLE) .....	14
2.7.1 Faktor Erosivitas Hujan (R) .....	15
2.7.2 Faktor Erodibilitas Tanah (K) .....	15
2.7.3 Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng (LS).....	16
2.7.4 Faktor Pengelolaan Tanaman (C).....	17
2.7.5 Faktor Konservasi Tanah (P) .....	17
2.8 Klasifikasi <i>Random Forest</i> .....	18
2.9 Penentuan Sampel .....	19
2.10 <i>Google Earth Pro</i> .....	21
2.11 Uji Akurasi .....	21
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>24</b>
3.1 Lokasi Penelitian.....	24
3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian .....	25
3.3 Alat dan Data.....	25
3.3.1 Alat.....	25
3.3.2 Data .....	25
3.4 Diagram Alir Penelitian .....	26

3.5 Tahap Persiapan .....	28
3.6 Tahap Pengolahan Data.....	28
3.6.1 Pengolahan Citra Sentinel 2A .....	28
3.6.2 Pengolahan Data Curah Hujan .....	36
3.6.3 Pengolahan Data Jenis Tanah.....	37
3.6.4 Pengolahan Data DEM Nasional .....	37
3.6.5 Perhitungan Metode RUSLE .....	38
3.7 Tahap Analisis.....	38
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>40</b>
4.1 Hasil Analisis Perubahan Penggunaan Lahan.....	40
4.2 Hasil Analisis Tingkat Bahaya Erosi metode RUSLE.....	47
4.2.1 Analisis Faktor Erosivitas Hujan (R) .....	47
4.2.2 Analisis Faktor Erodibilitas Tanah (K) .....	51
4.2.3 Analisis Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng (LS).....	52
4.2.4 Analisis Faktor Pengelolaan Tanaman (C) .....	53
4.2.5 Analisis Faktor Konservasi Tanah (P) .....	55
4.3 Analisis Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Tingkat Bahaya Erosi .....	67
<b>V. PENUTUP.....</b>	<b>69</b>
5.1 Kesimpulan .....	69
5.2 Saran.....	70
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>71</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Sistem Penginderaan Jauh.....	10
2. <i>Trees Ensemble</i> di Struktur <i>Random Forest</i> .....	19
3. Tabel <i>Confusion Matriks</i> .....	22
4. Peta Lokasi Penelitian .....	24
5. Diagram Alir Penelitian .....	26
6. Citra Sentinel 2A tahun 2019 .....	30
7. Citra Sentinel 2A tahun 2023 .....	30
8. <i>Training Sample</i> tahun 2019 .....	31
9. <i>Training Sample</i> tahun 2023 .....	32
10. Peta penggunaan lahan tahun 2019 di DAS Way Ratai.....	40
11. Peta penggunaan lahan tahun 2023 di DAS Way Ratai.....	42
12. Grafik perubahan penggunaan lahan di DAS Way Ratai.....	46
13. Grafik rata-rata curah hujan tahunan di DAS Way Ratai tahun 2010 sampai dengan 2019 .....	47
14. Peta rata-rata curah hujan tahunan DAS Way Ratai tahun 2010 sampai dengan 2019.....	48
15. Peta erosivitas hujan di DAS Way Ratai tahun 2019.....	49
16. Grafik rata-rata curah hujan tahunan di DAS Way Ratai tahun 2014 sampai dengan 2023 .....	49
17. Peta rata-rata curah hujan tahunan DAS Way Ratai tahun 2014 sampai dengan 2023.....	50
18. Peta erosivitas hujan di DAS Way Ratai tahun 2023.....	51
19. Peta erodibilitas tanah (K) di DAS Way Ratai.....	51
20. Peta panjang dan kemiringan lereng DAS Way Ratai .....	52
21. Peta pengelolaan tanaman di DAS Way Ratai tahun 2019 .....	54
22. Peta pengelolaan tanaman di DAS Way Ratai tahun 2023 .....	54

23. Peta konservasi tanah (P) di DAS Way Ratai .....	55
24. Peta tingkat bahaya erosi tahun 2019 di DAS Way Ratai.....	56
25. Peta tingkat bahaya erosi tahun 2023 di DAS Way Ratai.....	58
26. Grafik penggunaan lahan terhadap tingkat bahaya erosi di DAS Way Ratai .	68

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian Terdahulu .....	6
2. Nilai tanah (K) berdasarkan jenis tanah .....	16
3. Kelas panjang dan kemiringan lereng (LS).....	16
4. Nilai indeks faktor konservasi tanah (C).....	17
5. Nilai indeks faktor konservasi tanah (P) .....	18
6. Jumlah <i>Training Sample Minimum</i> (TSM) berdasarkan skala.....	20
7. Waktu Pelaksanaan Penelitian .....	25
8. Data Penelitian .....	26
9. Observasi klasifikasi penggunaan lahan tahun 2019 di DAS Way Ratai .....	33
10. Observasi klasifikasi penggunaan lahan tahun 2023 di DAS Way Ratai .....	35
11. Kelas tingkat bahaya erosi .....	39
12. Uji akurasi penggunaan lahan tahun 2019 .....	41
13. Nilai <i>kappa coefficient</i> .....	42
14. Uji akurasi penggunaan lahan tahun 2023 .....	43
15. Statistik perubahan penggunaan lahan di DAS Way Ratai .....	44
16. Luasan perubahan penggunaan lahan DAS Way Ratai tahun 2019 dan 2023	45
17. Hasil faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) di DAS Way Ratai.....	53
18. Hasil faktor pengelolaan tanaman (P) di DAS Way Ratai.....	55
19. Luasan kelas Tingkat Bahaya Erosi (TBE) tahun 2019.....	57
20. Tingkat Bahaya Erosi (TBE) tahun 2019.....	58
21. Luasan kelas Tingkat Bahaya Erosi (TBE) tahun 2023 .....	59
22. Tingkat Bahaya Erosi (TBE) tahun 2023.....	60
23. Perubahan Tingkat Bahaya Erosi (TBE) tahun 2019 sampai dengan 2023 ....	60
24. Validasi erosi sangat berat di setiap desa.....	61

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Erosi merupakan peristiwa perpindahan tanah dari satu tempat ke tempat lainnya secara alami, atau terjadinya pengikisan oleh air dan angin yang berlangsung secara alami ataupun akibat tindakan manusia. Erosi menjadi salah satu penyebab utama terjadinya kerusakan tanah. Tingkat bahaya erosi yaitu memperkirakan jumlah tanah yang hilang atau yang akan hilang pada suatu lahan. Erosi terjadi peningkatan salah satunya akibat kerusakan di kawasan aliran sungai yang disebabkan oleh beberapa faktor yaitu perubahan penggunaan lahan, kemiringan lereng, dan curah hujan.

Perubahan penggunaan lahan khususnya pada kegiatan pertanian sangat sensitif terhadap peningkatan erosi (Ganasri dan Ramesh, 2015). Sharma dkk (2011) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa aktivitas manusia adalah penyebab utama perubahan penggunaan lahan (Sharma dkk., 2011). Kebutuhan manusia terhadap lahan yang semakin meningkat dari waktu ke waktu sehingga terjadinya alih fungsi lahan Daerah Aliran Sungai (DAS) menjadi penggunaan lain (Edwin, 2021). Keseluruhan dampak perubahan tutupan lahan selama periode 1989 sampai dengan 2004 telah memberikan dampak negatif pada DAS Maithon dengan meningkatkan risiko erosi tanah. Lahan DAS juga sangat rentan terhadap erosi tanah oleh air terutama karena tanahnya yang rentan terhadap erosi (Sharma dkk., 2011).

DAS Way Ratai merupakan salah satu anak sungai Way Semangka di Kabupaten Pesawaran yang bermuara ke laut Teluk Lampung dengan kondisi sungai bebatuan lepas sehingga sangat mudah sekali tergerus oleh air. Di sekitar DAS Way Ratai terdapat desa yang rawan tanah longsor dan erosi (Mangsur, 2021). Badan

Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) menyatakan bahwa Kecamatan Way Ratai termasuk dalam titik rawan longsor dan erosi. Dalam liputan yang ada beberapa tahun terakhir wilayah DAS Way Ratai terjadi banjir pada tahun 2019 beberapa bangunan telah terbawa erosi, serta beberapa luas persawahan longsor (Mangsur, 2021). Perubahan lahan hutan menjadi lahan pertanian, kemiringan lereng yang curam, curah hujan yang lebih tinggi berdasarkan data BPS di Way Ratai memiliki curah hujan sekitar 388,9 juta m<sup>3</sup>/tahun, elevasi, dan vegetasi menjadi faktor yang mempengaruhi laju erosi tanah di DAS Way Ratai.

Tingkat bahaya erosi pada penelitian terdahulu dominan menggunakan metode USLE dan data citra Landsat 8 yang diproses dengan metode klasifikasi *maximum likelihood* (Tommy Arisandy, dkk., 2023). Pada Penelitian ini penulis menggunakan metode RUSLE dan citra Sentinel 2A dengan proses klasifikasi *machine learning* yaitu *random forest*. Metode RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan prediksi erosi dengan mempertimbangkan parameter curah hujan, jenis tanah, kemiringan lereng, dan penggunaan lahan. Model RUSLE ini dipilih karena sederhana, mudah, dan membutuhkan data dan waktu yang lebih sedikit. Menurut penelitian Ganasri dan Ramesh bahwa dalam metode RUSLE faktor yang sangat sensitif adalah penggunaan lahan. Citra Sentinel 2A dipilih karena dianggap mampu menghasilkan akurasi yang lebih baik dibandingkan Landsat 8 untuk deteksi perubahan lahan, *monitoring* hutan, dan mitigasi bencana (ESA., 2015 dalam Tridawati dkk., 2023). Sedangkan, Metode *random forest* digunakan karena metode ini terbaik untuk klasifikasi penggunaan lahan, dengan memiliki tingkat akurasi yang tinggi (Talukdar dkk., 2020). Kombinasi antara RUSLE, GIS dan data penginderaan jauh dapat menghasilkan hasil yang lebih akurat (Ganasri dan Ramesh, 2015).

Melihat sering terjadinya bencana di wilayah tersebut, maka perlu diketahui tingkat bahaya erosi yang akan terjadi mengingat penggunaan lahan setiap tahunnya berpotensi mengalami perubahan. Tujuan penelitian untuk melakukan pemetaan tingkat bahaya erosi sebagai pedoman atau gambaran wilayah yang rentan terkena

dampak erosi. Peta yang dihasilkan yaitu berisi informasi tingkat bahaya erosi tanah tahunan dari yang terendah sampai tertinggi dan pengaruh faktor perubahan penggunaan lahan pada tahun 2019 dan 2023.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang permasalahan tersebut, maka ditemukan masalah yang berkaitan dengan tingkat bahaya erosi adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perubahan penggunaan lahan di DAS Way Ratai?
2. Bagaimana tingkat bahaya erosi di DAS Way Ratai?
3. Bagaimana faktor perubahan penggunaan lahan berpengaruh terhadap tingkat bahaya erosi di DAS Way Ratai?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis perubahan penggunaan lahan di DAS Way Ratai.
2. Menganalisis tingkat bahaya erosi di DAS Way Ratai.
3. Menganalisis perubahan penggunaan lahan sebagai faktor terhadap tingkat bahaya erosi.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Melalui penelitian ini diharapkan dapat memperoleh manfaat antara lain:

1. Bagi Penulis  
Penelitian ini menjadi ruang belajar dalam meningkatkan kemampuan, pengetahuan, dan pengalaman peneliti yang berkaitan dengan bidang Sistem Informasi Geografis.
2. Bagi Masyarakat  
Hasil penelitian ini diharapkan sebagai sumber informasi dalam mengetahui lokasi yang memiliki indeks risiko bahaya erosi di DAS Way Ratai untuk meningkatkan kewaspadaan.

### 3. Bagi Pemerintah

Sebagai bahan informasi agar pemerintah dapat melakukan upaya-upaya serta menyusun kebijakan berkaitan dengan mitigasi bencana di daerah yang berpotensi terjadi erosi.

## 1.5 Batasan Masalah

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Objek penelitian yaitu di Daerah Aliran Sungai Way Ratai, Pesawaran, Lampung
2. Penelitian ini menggunakan beberapa parameter yaitu data penginderaan jauh yang digunakan adalah data Sentinel 2A tahun 2019 dan 2023, data DEMNAS, data jenis tanah, dan data curah hujan CHIRPS dalam kurun waktu 10 tahun.
3. Klasifikasi citra menggunakan metode *machine learning* yaitu *random forest*.
4. Tahap analisis menggunakan metode RUSLE pada hasil perkiraan tingkat bahaya erosi tahun 2019 dan 2023 di DAS Way Ratai, Pesawaran.
5. Analisis dilakukan berdasarkan Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.32/MENHUT-II/2009 tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan Dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RTkRHL-DAS).
6. Penelitian ini mengkaji tentang tingkat bahaya erosi dan analisis faktor pengaruh perubahan laju erosi terutama pada faktor dinamis yaitu perubahan penggunaan lahan.
7. Prediksi RUSLE memprediksikan jenis erosi tebing sungai, erosi lembar, erosi alur, dan erosi parit.

## 1.6 Kerangka Pemikiran

Berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Pesawaran tahun 2019 sampai dengan 2039, Kabupaten Pesawaran merupakan daerah yang rawan

terhadap bencana banjir, tanah longsor, dan tsunami. Dari beberapa bencana tersebut, yaitu banjir dan tanah longsor merupakan bencana yang sering terjadi. Banjir yang terjadi di sekitar daerah aliran sungai mengakibatkan terjadinya erosi/kehilangan tanah, jika banjir semakin besar dan tanah yang hilang semakin banyak dan cepat maka akan terjadi longsor di sekitar daerah tersebut. Perlu adanya kajian untukantisipasi terjadinya bencana yang lebih besar. Prediksi tingkat bahaya erosi dibuat berdasarkan Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.32/MENHUT-II/2009 tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RTkRHL-DAS). Kemudian setelah didapatkan tingkat bahaya erosi dilakukan analisis terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi laju erosi. Tindak lanjut antisipasi bencana dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi tersebut, seperti tindakan konversi penggunaan lahan.

### **1.7 Hipotesis**

Berdasarkan informasi BPBD bahwa Kabupaten pesawaran termasuk dalam titik rawan bencana seperti longsor dan erosi. Erosi terjadi di Daerah Aliran Sungai yang mengalami kerusakan tanah. Erosi jika terjadi semakin cepat dapat menimbulkan bencana, seperti pada tahun 2019 Daerah Aliran Sungai Way Ratai yang mengalami erosi hingga bangunan terbawa arus sungai. Hal ini dapat terjadi di wilayah tersebut akibat dari curah hujan yang tinggi, kemiringan lereng yang curam, dan kondisi tebing sungai berupa tanah batuan lepas. faktor - faktor yang paling mempengaruhi laju erosi yaitu penggunaan lahan yang mengalami perubahan akan mengakibatkan tingkat erosi semakin berat pada waktu mendatang, kemiringan lereng yang tinggi semakin curam lereng suatu lahan maka akan mempercepat tererosinya tanah, serta curah hujan yang tinggi akan mempengaruhi tingkat laju erosi.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian Serumpun sebelumnya telah dilakukan oleh para peneliti akan digunakan sebagai acuan dan perbandingan dalam pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan oleh penulis. Penelitian ini juga dilakukan untuk mengoptimalkan atau memperbaiki kekurangan-kekurangan yang ada pada penelitian sebelumnya. Berikut ini merupakan tabel uraian singkat penelitian-penelitian terkait yang dijadikan acuan, pertimbangan dan perbandingan.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No.	Penulis dan tahun	Judul	Metode	Hasil Penelitian
1	B.P. Ganasri, H. Ramesh (2015)	<i>Assessment Of Soil Erosion By RUSLE Model Using Remote Sensing And GIS - A Case Study Of Netahunravatahuni Basin</i>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Distribusi spasial curah hujan metode interpolasi 'kriging'.</li><li>2. Tutupan lahan menggunakan metode <i>maximum likelihood</i>.</li><li>3. TBE metode RUSLE</li><li>4. Pembobotan analisis <i>weighted index overlay</i></li></ol>	Studi ini memberi kesimpulan bahwa RUSLE sensitif terhadap tutupan lahan penggunaan lahan (khususnya, kegiatan pertanian) dan dengan demikian, jumlah erosi kotor meningkat menjadi 488.012,6 ton/ tahun dibandingkan 473.339 ton/tahun karena peningkatan area pertanian.
2	Danny Pamungkas (2020)	Pemetaan Tingkat Bahaya Erosi Dengan Metode RUSLE Di Sub DAS Garang Hulu	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Curah hujan menggunakan metode IDW,</li><li>2. Peta penggunaan lahan dibuat dengan data Citra Landsat, dengan metode <i>maximum likelihood</i>.</li></ol>	Hasil penelitian pada sub DAS Garang Hulu seluas 1.191,56 hektar (14,14%) erosi yang terjadi masih dibawah batas erosi yang diperbolehkan sedangkan area seluas 7.232,67

No.	Penulis dan tahun	Judul	Metode	Hasil Penelitian
			3. Uji akurasi penggunaan lahan menggunakan <i>producer's accuracy</i> dan <i>user's accuracy</i> 4. TBE metode RUSLE	hektar (85,86%) Laju erosi di Sub DAS Garang Hulu berkisar antara 5,4 sampai dengan 751,29 ton/ha/tahun.
3	Dwi Putra Ardani (2020)	Analisis Tingkat Bahaya Erosi Pada Sub DAS Biting, Arjasa, Dan Baratan Kecil Kabupaten Jember	1. Curah hujan menggunakan metode IDW 2. Koefisien permeabilitas (K) tanah timbunan dengan metode <i>falling head</i> . 3. TBE metode USLE	Hasil dari penelitian Pada Sub DAS Arjasa memiliki Perbedaan yang cukup signifikan anatara data lapangan dan peta disebabkan oleh karakteristik tanah yang berada di lapang, seperti persentase debu + pasir halus, persentase pasir kasar, kandungan bahan organik, harkat struktur tanah dan harkat permeabilitas.
4	Tommy Arisandy, dkk (2023)	Estimasi Tingkat Bahaya Erosi Dengan Menggunakan Metode USLE Dan Arahan Konservasi Pada DAS Semangka, Lampung	1. TBE Metode USLE	Simpulan dari penelitian erosi yang terjadi pada DAS Semangka sebesar 129,69 ton/ha/tahun dengan kelas erosi sangat rendah 23,33%, rendah 20,38%, sedang 19,05%, tinggi 34,85% dan sangat tinggi 2,40%.
5	Ali Hagrass (2023)	<i>Estimating Water Erosion In Tahune El-Mador Valley Basin, Soutahun-West Matrouh City, Egypt, Using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Model Tahunrough GIS</i>	1. Menentukan nilai k menggunakan <i>metahunods presented by neitsch</i> 2. Tutupan lahan menggunakan klasifikasi terbimbing dan algoritma NDVI	Penelitian ini mengungkapkan bahwa tingkat risiko erosi tanah air tahunan di Cekungan Lembah EL - Mador berkisar antara 0 hingga > 2.500 ton dengan rata - rata spasial sebesar 54,80 ton. klasifikasi risiko kehilangan tanah di wilayah studi yang bagian timur, barat,

No.	Penulis dan tahun	Judul	Metode	Hasil Penelitian
				dan tengah wilayah penelitian memiliki nilai yang tinggi, parah, dan ekstrim.
6	Firman Hadi, Tito Eka Syafjanuar, Nasrul Arrahman, Ichwana Ramli (2023)	Nilai Erosi Dengan Metode RUSLE Dari Pemanfaatan Citra Sentinel - 2 Di Wilayah Sungai Pasee Peusangan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Faktor C diperkirakan dengan menggunakan NDVI</li> <li>2. TBE metode RUSLE</li> </ol>	Berdasarkan hasil dari penelitian ini Faktor LS menjadi pengaruh terhadap erosi di WS Pasee-Peusangan. Jenis tanah, karakteristik curah hujan, karakteristik aliran sungai dan pola drainase semuanya berpengaruh besar terhadap luasan dan tingkat erosi tanah dan sedimentasi.

Berdasarkan referensi penelitian yang telah ada sebelumnya, penulis melakukan penelitian Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Tingkat Bahaya Erosi di Daerah Aliran Sungai (DAS) Way Ratai. Penelitian ini menggunakan metode RUSLE yang fokus membahas faktor penggunaan lahan yang dijadikan bahan penentuan faktor pengelolaan tanaman dalam prediksi tingkat bahaya erosi. Pada penelitian sebelumnya penentuan faktor pengelolaan tanaman dengan memanfaatkan citra Landsat 8 dan dilakukan proses klasifikasi menggunakan metode *maximum likelihood*, sedangkan pada penelitian ini memanfaatkan citra Sentinel 2A dan melakukan proses klasifikasi menggunakan metode *machine learning* yaitu *random forest* dengan menghasilkan tujuh kelas penggunaan lahan.

## 2.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)

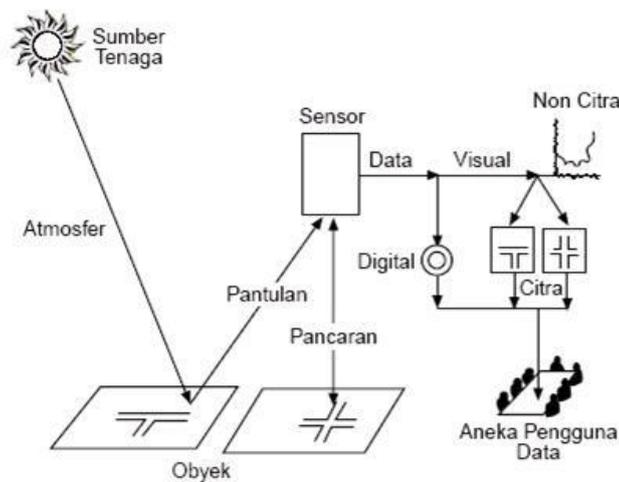
Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah disekitar sungai dan anak sungai yang berupa daratan, berfungsi mengalirkan air hujan ke aliran akhir seperti laut secara alami (Peraturan Direktur Jendral Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial, 2013). DAS berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami. Batas DAS merupakan pemisah

topografis antara laut hingga daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.

DAS yang merupakan suatu ekosistem alam yang disebabkan oleh curah hujan sebagai hasil proses turunnya air ke permukaan bumi. Komponen DAS yang berupa tanah, air, dan vegetasi dalam hal ini sebagai faktor utama. Adanya hubungan timbal balik antar ekosistem DAS, sehingga salah satu komponen lingkungan mengalami perubahan, hal itu akan mempengaruhi komponen yang lainnya, seperti mempengaruhi keutuhan sistem ekologi di daerah tersebut. Pengelolaan pada DAS secara rasional untuk mendapatkan penggunaan lahan yang berkelanjutan demi tercapainya produksi maksimum atau optimum dalam waktu yang tidak terbatas dan untuk menekan bahaya kerusakan seminim mungkin sehingga didapat hasil air dalam jumlah, kualitas dan distribusi yang baik. Menurut Kusuma dalam (Kadir, 2016) mengemukakan bahwa karakteristik vegetasi dalam suatu DAS terdapat jenis-jenis penggunaan lahan utama seperti lahan pemukiman, hutan, lahan pertanian, padang rumput.

### **2.3 Penginderaan Jauh**

Penginderaan jauh merupakan ilmu dalam memperoleh informasi mengenai suatu objek, area, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh tanpa kontak langsung dengan objek. Campbell menyatakan bahwa penginderaan jauh adalah ilmu untuk mendapatkan informasi tentang permukaan bumi seperti tanah dan air dari gambar yang diperoleh dari kejauhan (Danoedoro 2012). Pengambilan data penginderaan jauh menggunakan dua cara yaitu menggunakan satelit yang akan menghasilkan citra satelit dan menggunakan pesawat dengan ketinggian di atmosfer yang akan menghasilkan foto udara. Data penginderaan jauh yang diperoleh dalam bentuk objek memberikan representasi pada wilayah yang luas, menampilkan detail yang teliti, dan posisi objek dengan tingkat kemiripan terhadap bentuk dan letaknya serta informasi yang meliputi banyak hal mengenai informasi objek di permukaan bumi. Foto udara atau dikenal sebagai penginderaan jauh fotografik lebih sering digunakan, dan perluasan konsep penginderaan jauh telah membawa penggunaan istilah ini lebih jauh dalam sistem fotografi (Adisasmitha dkk., 2018).



Gambar 1. Sistem Penginderaan Jauh  
(Hernan, 2016 dalam Zulrihad, 2022)

Penginderaan jauh diperoleh dari hasil perekaman dengan menggunakan berbagai jenis sensor yang dipasang pada pesawat terbang atau satelit tanpa kontak langsung dengan objek. Citra hasil dari perekaman tersebut diperoleh dari proses perekaman pantulan (*reflectance*), pancaran (*emitance*), atau hamburan balik (*backscatter*) gelombang elektromagnetik dengan sensor *optic* yang terpasang pada suatu wahana (Danoedoro 2012). Sistem penginderaan jauh dengan sumber tenaga pencahayaan yang membantu memberikan penerangan cahaya pada objek, kemudian akan terpantul dan terekam oleh *sensor*. *Sensor* merupakan alat yang berfungsi untuk merekam, mencatat, dan mengumpulkan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan atau dipantulkan oleh objek. Alat pendeteksi dan perekam data tersebut dinamakan *sensor* atau *remote sensor*. Alat ini dipasang pada wahana seperti satelit atau pesawat terbang. Data yang diperoleh oleh *sensor* akan dikirimkan ke stasiun penerima kemudian diproses menjadi format berupa citra visual dan citra digital siap pakai. Data hasil perekaman citra satelit merupakan data raster yang di dalamnya terdapat nilai-nilai *pixel* yang merepresentasikan nilai objek berdasarkan karakteristik objek yang direkam dari permukaan bumi.

Interpretasi citra merupakan pengolahan untuk mengkaji, mendeteksi, mengidentifikasi, dan analisis objek dari citra/foto udara. Unsur-unsur interpretasi citra terdiri dari (Danoedoro, 2012):

1. Rona atau warna, merupakan unsur pengenal pada objek penginderaan jauh. Rona adalah tingkat kegelapan atau tingkat kecerahan objek antara hitam ke putih atau sebaliknya, sedangkan warna adalah wujud rona yang lebih beraneka ragam yang dapat dilihat oleh mata dengan 200 rona dan 20.000 warna.
2. Bentuk, merupakan ciri khas kerangka/bentuk objek yang terekam pada citra.
3. Ukuran, merupakan unsur atribut objek yang antara lain jarak, luas, tinggi, lereng dan volume.
4. Tekstur, merupakan frekuensi perubahan rona pada citra atau sering disebut dengan tingkat kasar halus dari suatu objek.
5. Pola, merupakan susunan keruangan yang menandai banyak objek bentukan manusia dan bagi objek alami.
6. Bayangan, merupakan sifat pengenal pada beberapa objek pada citra yang berada di area gelap.
7. Asosiasi, merupakan keterkaitan antara objek satu dengan objek lain.
8. Situs, merupakan letak suatu objek terhadap objek lainnya yang memiliki kaitannya dengan lingkungan sekitar.
9. Konvergensi bukti, merupakan kombinasi dari beberapa unsur interpretasi citra yang dapat menunjukkan ruang lingkup pada kesimpulan objek tertentu.

Keunggulan pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dibandingkan dengan foto udara diantaranya adalah harga yang relatif murah, waktu perekaman yang sama terhadap daerah yang sama, pemilihan *spectrum* panjang gelombang untuk mengatasi hambatan atmosfer, serta kombinasi saluran spektral (*spectral band*) yang dapat diatur sesuai dengan tujuan pengguna (Danoedoro, 2012). Serta citra yang dihasilkan dapat menggambarkan objek daerah pada permukaan bumi relatif lengkap dan meliputi daerah yang luas, dan pada citra tertentu dapat dihasilkan gambaran tiga dimensi (Zulrihad, 2022).

## **2.4 Sistem Informasi Geografis (SIG)**

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah suatu sistem yang dirancang untuk menangkap, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa, dan menampilkan data yang berhubungan dengan posisi di permukaan bumi. SIG memungkinkan para pengguna untuk memahami pola, hubungan, dan situasi geografis melalui berbagai jenis data spasial dan atribut. SIG memerlukan data spasial yaitu informasi lokasi (spasial) dan informasi atribut (non spasial). Data spasial berasal dari peta analog dan data penginderaan jauh.

Perolehan data yang efisien serta akurasi hasil pemetaan dalam proses perencanaan dan pengelolaan wilayah sebagai masukan dapat diperoleh dengan melakukan Integrasi antara teknologi penginderaan jauh dengan SIG (Danoedoro, 2012). SIG digunakan untuk membuat pemodelan, memahami pola spasial, mendukung pengambilan keputusan dalam berbagai bidang seperti pemetaan kebencanaan, sebaran objek wisata, bidang kesehatan, perencanaan kota, dan pemantauan lingkungan (Manakane dkk., 2023). SIG pula dapat digunakan sebagai alat bantu interaktif yang menarik dalam usaha lokasi, ruang, kependudukan, wilayah, dan tata kota serta unsur geografi lainnya yang ada dipermukaan bumi (Zulrihad, 2022).

## **2.5 Penggunaan Lahan**

Penggunaan lahan merupakan objek yang menutupi lahan yang dimanfaatkan berdasarkan kebutuhan masa kini. Penggunaan lahan mencakup berbagai aktivitas dan fungsi yang dilakukan di atas tanah, termasuk pemukiman, pertanian, industri, rekreasi, dan konservasi. Aktivitas ini menjadi bentuk campur tangan manusia terhadap sumber daya lahan, baik yang bersifat tetap ataupun yang tidak. Penggunaan lahan dalam peta Rupa Bumi Indonesia dibagi menjadi beberapa golongan yaitu sawah irigasi, sawah tadah hujan, permukiman, kebun, hutan, hutan rawa, semak belukar, ladang, tanah kosong, dan industri. Perlu pertimbangan dalam penggunaan lahan dengan melihat kebutuhan dan evaluasi sumber daya lahan agar penggunaan lahan dilakukan dengan baik sesuai keperluan pertanian maupun

keperluan lainnya. Hasil-hasil pertanian dan non pertanian akan semakin meningkat seiring dengan penambahan penduduk, dimana bertambah pula terhadap makanan dan kebutuhan lainnya yang didapat oleh sumber daya lahan. (Djangu dkk., 2017). Dengan banyaknya macam penggunaan lahan akan mempengaruhi perubahan lahan yang sifatnya potensial.

Perubahan lahan terjadi karena adanya keperluan untuk memenuhi kebutuhan penduduk yang semakin meningkat dan meningkatnya pemenuhan mutu kehidupan yang lebih baik. Penggunaan lahan di suatu wilayah, baik di perkotaan maupun di perdesaan sangatlah kompleks. Oleh karena itu, untuk keperluan inventarisasi di antaranya, diperlukan adanya klasifikasi atau pengelompokan. Pengelompokan biasanya dilakukan atas dasar kesamaan sifat dan atas dasar kriteria – kriteria atribut tertentu. Klasifikasi penggunaan lahan pada penelitian ini berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7645-1 :2014 Tentang Klasifikasi penutupan lahan.

## **2.6 Erosi**

Erosi tanah adalah proses pengikisan pada bagian atas dan penimbunan pada bagian bawah. Informasi mengenai erosi sangat penting untuk rencana pemanfaatan lahan yang lebih sesuai agar terhindar dari dampak-dampak negatif yang akan timbul akibat pemanfaatan lahan yang tidak sesuai. Dampak negatif dari erosi tanah, yaitu di lokasi dan diluar terjadinya erosi. Efek di lokasi tempat terjadinya erosi tanah adalah kerugian terhadap hilangnya permukaan tanah yang baik untuk kegiatan pertanian, dan terjadinya penghancuran lapisan tanah. Sedangkan, efek di luar lokasi terjadinya erosi adalah hancurnya partikel-partikel tanah yang menyebabkannya terjadi pengendapan pada sungai dan berkurangnya kapasitas aliran sungai, risiko terjadinya banjir meningkat, dan reservoir cepat penuh. Menurut segi bentuknya erosi dibedakan menjadi 7 macam yaitu erosi percikan (*splash erosion*), erosi lembar (*sheet erosion*), erosi alur (*rill erosion*), erosi parit, erosi tebing sungai (*river bank erosion*), longsor, dan erosi internal

## 2.7 Metode *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE)

Metode USLE dikembangkan pada akhir tahun 1950-an oleh W. H. Wischmeier, D. D. Smith, dengan Departemen Pertanian AS (USDA), *Agricultural Research Service* (ARS), *Soil Conservation Service* (SCS), dan Universitas Purdue. USLE pada awalnya dikembangkan sebagai alat untuk membantu konservasi tanah dalam perencanaan pertanian dengan memperkirakan kehilangan tanah pada lereng tertentu. Pada tahun 1970-an metode ini diterapkan pada penggunaan lahan lainnya seperti padang rumput, lahan hutan, perkotaan, tempat rekreasi, dan area tambang. Penerapan yang meluas ini karena kurangnya model-model untuk merencanakan erosi tanah oleh air. Persamaan USLE tidak memperkirakan hasil sedimen di lokasi hilir, dan tidak mencakup erosi parit. Jika USLE dimodifikasi untuk memperhitungkan efek limpasan, maka setiap faktor harus dipertimbangkan (Renard dkk., 1991). Metode RUSLE dikembangkan pada akhir tahun tahun 1987 *Agricultural Research Service* (ARS), *Soil Conservation Service* (SCS) dan beberapa peneliti lainnya melakukan perkembangan Pembaruan USLE yang sangat substansial.

RUSLE digunakan untuk menentukan besarnya erosi dari berbagai macam kondisi penggunaan lahan dan kondisi iklim yang berbeda pula. RUSLE adalah model erosi yang dirancang untuk memprediksi kehilangan tanah tahunan rata-rata dalam kurun waktu yang lama terbawa oleh air limpasan dari kemiringan lereng lahan tertentu dalam sistem penanaman dan pengelolaan tertentu dan juga dari luas area. RUSLE dapat memprediksikan laju erosi rata-rata lahan tertentu pada lahan yang memiliki jenis tanah yang berbeda-beda, kemiringan lahan dengan pola curah hujan tertentu, dan penerapan dalam pengelolaan lahan. RUSLE direncanakan memperkirakan erosi dalam jangka panjang di bawah kondisi tertentu. RUSLE telah banyak digunakan dalam memperkirakan erosi tanah dan sedimentasi (Hadi dkk., 2023). Persamaan RUSLE yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut (Renard dkk., 1997):

$$Ea = R \times K \times LS \times C \times P \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

Ea = Banyaknya Tanah Tererosi (ton/ha/tahun)

R = Faktor Erosivitas Hujan

K = Faktor Erodibilitas Tanah

LS = Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng

C = Faktor Vegetasi Pengelolaan Tanaman

P = Faktor Tindakan Konservasi Praktis/Tanah

### 2.6.1 Faktor Erosivitas Hujan (R)

Erosivitas adalah kemampuan hujan yang dapat melakukan erosi tanah. Erosivitas hujan tahunan yang dapat dihitung dari data curah hujan yang diperoleh dari pengukur hujan. Semakin tebal hujan yang terjadi maka nilai erosivitas juga akan tinggi yang berarti bahwa kemampuan hujan untuk menimbulkan erosi sangat besar (Tarigan dan Mardiatno, 2012). Hujan menyebabkan erosi tanah dengan dua cara yaitu pelepasan partikel tanah oleh air hujan pada permukaan tanah dan pergerakan aliran air hujan pada permukaan tanah. Pembuatan peta rata-rata hujan menggunakan Metode interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW). Metode tersebut merupakan metode yang mengasumsikan bahwa semakin dekat jarak suatu titik terhadap titik yang tidak diketahui nilainya, maka semakin besar pengaruhnya. Nilai bobot yang lebih besar terdapat pada titik yang memiliki jarak lebih dekat dari lokasi yang diperkirakan. Faktor erosivitas hujan dihitung berdasarkan nilai curah hujan tahunan menggunakan persamaan yang dikeluarkan oleh Lenvain pada tahun 1989 (Karyati, 2016) sebagai berikut :

$$R = 2,21 \times (CH)^{1,36} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

R = Indeks erosivitas bulanan

CH = Curah hujan tahunan (mm)

### 2.6.2 Faktor Erodibilitas Tanah (K)

Erodibilitas tanah adalah faktor kepekaan tanah terhadap erosi. Jika erodibilitas suatu tanah tinggi maka lahan tersebut menjadi penyebab terjadi erosi yang besar dan sebaliknya. Nilai erodibilitas tanah ditentukan oleh komposisi fisik tanah (tekstur), struktur, permeabilitas tanah dan kandungan bahan organik dalam tanah. Beberapa tanah seperti lanau/lumpur lebih mudah tererosi dari yang lain. Metode penentuan Nilai tanah (K) berdasarkan peta jenis tanah, dengan menentukan jenis tanah kemudian menyesuaikan nilai tanah dengan nilai K yang telah ditetapkan. Klasifikasi nilai tanah (K) sesuai peta jenis tanah dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 2. Nilai tanah (K) berdasarkan jenis tanah

No.	Tipe Tanah	Nilai K
1	Alluvial	0,29
2	Andosol	0,28
3	Gleisol	0,29
4	Latsol	0,26
5	Litosol	0,13
6	Podsolik	0,20
7	Regosol	0,31

Sumber :Sadewo dkk., 2023

### 2.6.3 Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng (LS)

Kemiringan lereng berpengaruh pada kehilangan tanah, pada umumnya semakin miring lereng akan tinggi laju permukaan, begitu pula sebaliknya semakin datar kemiringannya maka semakin rendah laju aliran permukaan dan semakin bertambah Panjang lereng maka kehilangan tanah per unit area akan meningkat pula (Tutuarima dkk., 2021). Sehingga hal tersebut sangat berisiko terjadi kerusakan tanah yang akan menjadi faktor terjadinya erosi. Interpretasi panjang dan kemiringan lereng melalui data penginderaan jauh yaitu menggunakan data DEM (*Digital Elevation Model*). Berikut ini klasifikasi kelas panjang dan kemiringan lereng berdasarkan pengolahan data DEM menjadi data *slope*.

Tabel 3. Kelas panjang dan kemiringan lereng (LS)

Kondisi	Kelas lereng (%)	LS
Datar	0 - 8	0,40
Landai	8 - 15	1,40
Agak Curam	15 - 25	3,10
Curam	25 - 45	6,80
Sangat Curam	>45	9,50

Sumber :Arsyad, 2010

#### 2.6.4 Faktor Pengelolaan Tanaman (C)

Faktor Pengelolaan tanaman mewakili jumlah kehilangan tanah pada tutupan vegetasi (Hadi dkk., 2023). Faktor C dapat mengubah pola aliran dan arah dari limpasan permukaan dengan mengurangi laju limpasan dan jumlahnya. Faktor C yang merupakan pengaruh vegetasi terhadap erosi tanah, diperoleh dari peta penggunaan lahan. Peta penggunaan lahan pada penelitian ini diperoleh dari pengolahan data citra Sentinel 2A, menggunakan metode *machine learning* yaitu *random forest*. Metode ini dipilih karena menjadi metode terbaik untuk klasifikasi penggunaan lahan dibandingkan dengan semua metode *machine learning* lainnya (Talukdar dkk., 2020). Klasifikasi citra dengan metode *random forest* dilakukan dengan melakukan *training* pada *sample* data yang dimiliki. Nilai faktor C berkisar antara 0,001 pada hutan tak terganggu hingga 1,0 pada lahan kosong (Departemen Kehutanan, 2009). Berikut sajian indeks pengelolaan tanaman (C) :

Tabel 4. Nilai indeks faktor pengelolaan tanaman (C)

No	Jenis Tanaman	Nilai C
1	Padi sawah	0,01
2	Padi gogo (sawah kering)	0,53
3	Perkebunan	0,5
5	Tanah kosong	1,0
6	Hutan terganggu (hutan konservasi)	0,005
7	Permukiman	0,3
8	Badan Air	0

Sumber :Departemen kehutanan, 2009;

Tabel 5. Nilai indeks faktor pengelolaan tanaman (C)

No	Jenis pengelolaan tanaman	Nilai C
1	Permukiman	0,3
2	Badan Air	0

Sumber :Olorunfemi dkk., 2020

### 2.6.5 Faktor Konservasi Tanah (P)

Tindakan konservasi tanah (P) adalah pembagian antara erosi pada tanah dengan tindakan atau tanpa tindakan konservasi terhadap erosi pada tanah. Tindakan ini sebagai peran manusia dalam mencegah besarnya nilai erosi. Nilai P dihitung penentuan nilai tersebut berdasarkan nilai *slope* atau kemiringan lereng. Berikut ini nilai faktor pengelolaan tanaman berdasarkan dengan nilai *slope*.

Tabel 6. Nilai indeks faktor konservasi tanah (P)

No	Teknik Konservasi Tanah	Nilai P
1	Kemiringan 1 - 3%	0,4
2	Kemiringan 3 - 8%	0,5
3	Kemiringan 8 - 15%	0,6
4	Kemiringan 15 - 25%	0,8
5	Kemiringan >25%	0,9

Sumber :Departement kehutanan, 2009

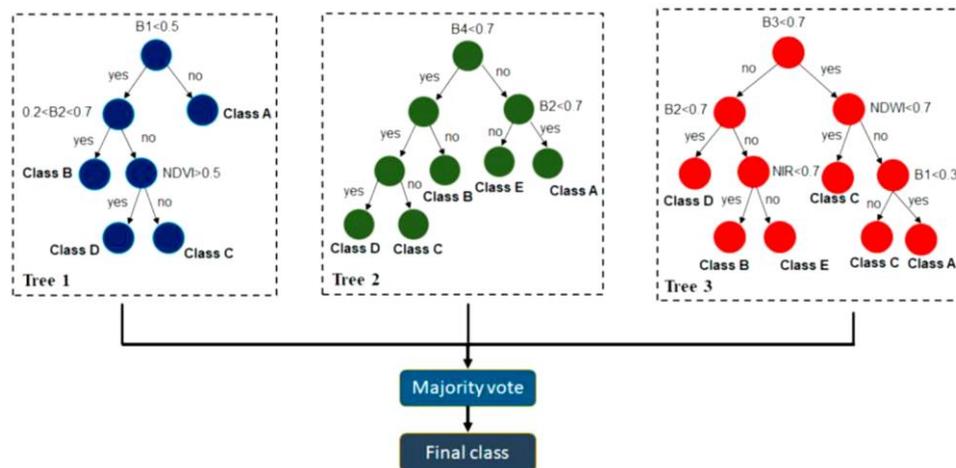
## 2.8 Klasifikasi *Random Forest*

*Random Forest* (RF) merupakan salah satu metode menggunakan *machine learning*. Klasifikasi RF adalah pengelompokan yang menghasilkan beberapa pohon keputusan, menggunakan *subset training sample* dan variabel yang dipilih secara acak. Metode RF menghasilkan banyak pohon yang digunakan sebagai dasar *majority vote* (*bagging ensemble method*). *Majority vote* ini digunakan untuk menentukan kelas label di *output*. Keunggulan dari RF adalah sangat efektif dalam menghadapi masalah *overfitting*, karena pohon/*tree classified* yang dihasilkan dilakukan secara *random* sehingga tidak akan terpengaruh oleh *overfitting* dan dapat melakukan proses dengan cepat. Karena keunggulannya ini metode RF

menjadi konvensional karena keakuratan klasifikasinya (Belgiu dan Drăgu, 2016). Algoritma RF telah banyak digunakan untuk memecahkan masalah lingkungan, seperti manajemen sumber daya air dan mitigasi bencana alam.

Metode RF dilakukan melalui pembentukan pohon (*tree*) dengan melakukan *training* pada *sample* data yang dimiliki. Penentuan jumlah titik *sample* ditentukan secara representatif dan proporsional berdasarkan luasan area yang dipetakan.

Algoritma RF dijalankan dengan kumpulan *training sample* klasifikasi sebagai data *input* yang akan dibuat menjadi *subset*, *subset* pertama akan membuat *tree* pertama, *subset* kedua membuat *tree* kedua, dan seterusnya. *Tree* tersebut akan menghasilkan kelas-kelas tersendiri (*class A*, *class B*) dan akan di-*voting* menggunakan *Majority-Voting* sehingga menghasilkan *Final-Class* (Siska dkk., 2022). Berikut ini alur kerja algoritma *random forest*.



Gambar 2. *Trees Ensemble* di Struktur *Random Forest* (Siska dkk., 2022)

Sebelum melakukan klasifikasi *random forest* hal yang perlu dilakukan adalah proses tuning parameter. Tuning parameter merupakan suatu proses penyesuaian parameter untuk meningkatkan kinerja *machine learning* menghasilkan yang terbaik. Parameter yang di perhatikan adalah jumlah pohon (*ntree*), ukuran pemisahan node minimum (*minimum node size*), dan jumlah variabel prediktor (*mtry*). Dalam penelitian ini tuning parameter yang digunakan adalah *ntree* 500, *minimum node size* 10, dan *mtry* = k. Klasifikasi *random forest* untuk menghasilkan

peta penggunaan lahan dengan menggunakan perangkat Vigma pada perangkat lunak SAGA 9.4.1.

## 2.9 Penentuan *Sample*

Penentuan *sample* dilakukan agar memperoleh gambaran parameter populasi di area tersebut. Secara umum, proses klasifikasi melibatkan pembuatan titik *training* dan *testing*. *Training sample* adalah data yang digunakan untuk melakukan proses klasifikasi. Sedangkan *Testing* merupakan titik uji yang digunakan untuk menguji model yang telah dibuat.

Penentuan jumlah titik *sample* ditentukan secara representatif dan proporsional berdasarkan luasan area yang dipetakan. Metode penentuan jumlah *sample* berdasarkan Peraturan Badan Informasi Geospasial (BIG) No.3 Tahun 2014 penentuan jumlah titik *sample* menggunakan rumusan berikut ini:

$$A = TSM + \left( \frac{\text{Luas}}{1.500} \right) \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

A = Jumlah Titik *Sample*

TSM = *Training Sample Minimum*

Berdasarkan Peraturan Badan Informasi Geospasial (BIG) Nomor 8 Tahun 2014 *Training Sample Minimum* (TSM) diperoleh berdasarkan skala peta, dengan ketentuan sebagai berikut:

Tabel 6. Jumlah *Training Sample Minimum* (TSM) berdasarkan Skala

No	Skala Peta	TSM
1	1:25.000	50
2	1:50.000	30
3	1:250.000	20

Sumber : BIG, 2014

Metode lain dalam penentuan *sample* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Slovin. Rumus Slovin dapat digunakan untuk menentukan jumlah *sample* pada

penelitian yang menduga proporsi populasi. Slovin mengasumsikan bahwa tingkat keandalannya 95% (Setiawan, 2007). Berikut ini rumus penentuan *sample* menggunakan Slovin (Setiawan, 2007).

$$n = \frac{N}{(N \times d^2) + 1} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

n = *Sample*

N = Populasi

d = Galat pendugaan/kekeliruan

Penelitian ini menggunakan dua metode dalam penentuan titik *sample*. Penentuan titik *training sample* menggunakan metode berdasarkan Peraturan BIG dengan jumlah 35 *sample*. Sedangkan titik *testing* menggunakan metode Slovin dengan tingkat kekeliruan 0,1 dengan jumlah 100 *sample*.

## 2.10 Google Earth Pro

*Google earth* merupakan program globe virtual yang sebelumnya disebut *earth viewer* dan dibuat oleh Keyhole, Inc. Menurut *website* resmi *google earth* pergantian nama ini terjadi pada tahun 2005. Program ini menampilkan/memetakan bumi dari gambar yang dikumpulkan dari satelit, foto udara, dan wahana penginderaan jauh lainnya. *Google earth pro* digunakan untuk penggunaan komersial. Resolusi spasial pada *google earth* adalah 1 meter. *Google earth* mampu menampilkan seluruh gambar permukaan bumi, menampilkan bangunan dan struktur secara 3D dan juga memiliki data *Digital Elevation Model* (DEM) yang dikumpulkan oleh misi Topografi Radar Ulang Alik NASA. Sistem koordinat internal *google earth* adalah koordinat geografi dalam bentuk *World Geodetic System* tahun 1984 (WGS84). Proyeksi yang digunakan untuk efek terlihat dari satelit yang sedang mengorbit disebut *General Perspective*, efek ini hampir sama dengan proyeksi orthografis. Program ini mendukung pengelolaan data Geospasial tiga dimensi melalui *Keyhole Maerkup Language* (KML). Ketidakakuratan pada *google earth* dapat terjadi seperti *set-set* gambar yang tidak menyatu dengan baik

dan daerah-daerah terpencil masih jarang ter-cover oleh *google earth* (Ardyodyantoro, 2014).

## 2.11 Uji Akurasi

Uji akurasi hasil dari proses klasifikasi dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi peta penggunaan lahan yang dihasilkan dari proses klasifikasi menggunakan *software* dengan metode dan titik *sample* yang telah ditentukan. Uji akurasi dilakukan berdasarkan perbandingan *training sample* dan *Testing* yang berbeda, agar keakuratan hasilnya dapat diterima. Metode yang digunakan untuk menghitung akurasi klasifikasi menggunakan matriks kesalahan atau *confusion matrix*.

Uji Akurasi *Confusion Matrix* adalah metode untuk mengukur ketelitian klasifikasi, berisi informasi yang membandingkan hasil klasifikasi oleh perangkat dengan yang seharusnya (Rahmi Putri dkk., 2022). Akurasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah nilai *kappa coefficient* dan *overall accuracy* kemudian dilakukan perhitungan juga nilai *producer's accuracy*, *user's accuracy*.

Confusion Matrix		Prediksi					
		Kelas A	Kelas B	Kelas C	...	Kelas Q	$\Sigma$
Aktual	Kelas A	$x_{AA}$	$x_{AB}$	$x_{AC}$	...	$x_{AQ}$	$x_{A+}$
	Kelas B	$x_{BA}$	$x_{BB}$	$x_{BC}$	...	$x_{BQ}$	$x_{B+}$
	Kelas C	$x_{CA}$	$x_{CB}$	$x_{CC}$	...	$x_{CQ}$	$x_{C+}$
	.	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.	.
	Kelas Q	$x_{QC}$	$x_{QB}$	$x_{QC}$	...	$x_{QQ}$	$x_{Q+}$
$\Sigma$	$x_{+A}$	$x_{+B}$	$x_{+C}$	...	$x_{+Q}$	$\Sigma_{total}$	

Gambar 3. Tabel *Confusion matriks* (Rahmi Putri dkk., 2022)

*producer's accuracy* adalah akurasi yang dilihat dari sisi penghasil peta, sedangkan *user's accuracy* adalah akurasi yang dilihat dari sisi pengguna peta. *producer's accuracy* dan *user's accuracy* dihitung dengan memperhatikan seberapa besar kemungkinan klasifikasi dilapangan tepat dengan citra. *producer's accuracy* dan *user's accuracy* ditentukan menggunakan rumus berikut (Rahmi Putri dkk., 2022):

$$\text{Producer accuracy} = \left( \frac{X_{AA}}{\sum X+A} \right) \times 100 \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{User accuracy} = \left( \left( \frac{X_{AA}}{\sum X+A} \right) \times 100 \right) \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

*Overall accuracy*/akurasi keseluruhan yaitu mempresentasikan keakuratan perangkat dalam mengklasifikasikan data secara benar. Nilai akurasi keseluruhan dapat dihitung menggunakan rumus berikut (Rahmi Putri dkk., 2022):

$$\text{Overall accuracy} = \left( \frac{\text{Total nilai yang sesuai}}{\text{Total seluruh}} \right) \times 100 \dots\dots\dots (7)$$

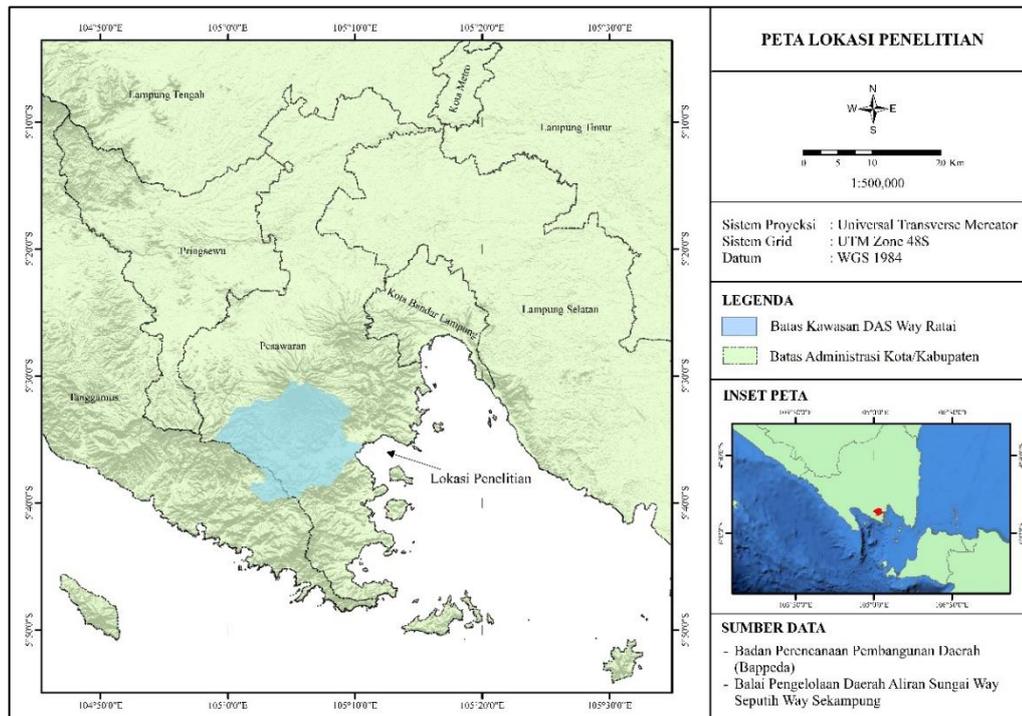
Kemudian nilai indeks *kappa* digunakan untuk mengetahui konsistensi nilai akurasi peta hasil pemetaan. Semakin besar nilai indeks *kappa* maka tingkat kepercayaan terhadap nilai uji akurasi yang dihasilkan akan semakin tinggi. Indeks *kappa* lebih komprehensif dalam menyatakan validitas klasifikasi. Nilai *kappa coefficient* dapat dihitung menggunakan rumus berikut (Rahmi Putri dkk., 2022):

$$\text{Kappa Coefficient} = \left( \frac{(TS \times TCS) - \sum(\text{column total} \times \text{row total})}{(TS)^2 - \sum(\text{column total} + \text{row total})} \right) \times 100 \dots\dots\dots (8)$$

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di DAS Way Ratai antara Kecamatan Way Ratai dan Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. Luas wilayah sekitar 21.971 Ha. DAS Way Ratai merupakan wilayah sungai DAS Way Semaka yang membentang antara Kabupaten Tanggamus dan Kabupaten Pesawaran. DAS Way Ratai memiliki beberapa beberapa desa disekitarnya seperti Babakan Loa, Banjaran, Bunut, Bunut Seberang, Durian, Gayau, Gunung Rejo, Hanau Berak, Harapan Jaya, Khepong Jaya, Lengkukai, Merbau, Mulyosari, Padang Cermin, Paya, Pesawaran Indah, Poncorejo, Sanggi, Sidoharjo, Sinar Harapan, Sumber Jaya, Talang Mulya, Tambangan, Trimulyo, Wates Way Ratai, dan Way Urang. Peta DAS Way Ratai dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian

### 3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan dalam waktu 4 bulan. Dimulai pada bulan April sampai dengan Juli 2024. Waktu pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 7. Waktu Pelaksanaan Penelitian

Kegiatan	Bulan												
	April			Mei			Juni			Juli			Agustus
Studi Literatur	■	■	■										
Penyusunan Proposal		■	■	■									
Persiapan Administrasi				■	■	■							
Pengumpulan Data					■	■	■						
Pengolahan Data							■	■	■	■	■		
Validasi Lapangan											■		
Penyusunan Hasil											■	■	■

### 3.3 Alat dan Data

Alat dan data yang diperlukan pada penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

#### 3.3.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop
2. Handphone
3. *Software* pengolahan data spasial
4. *Software Microsoft Excel*
5. *Software Microsoft Word*

#### 3.3.2 Data

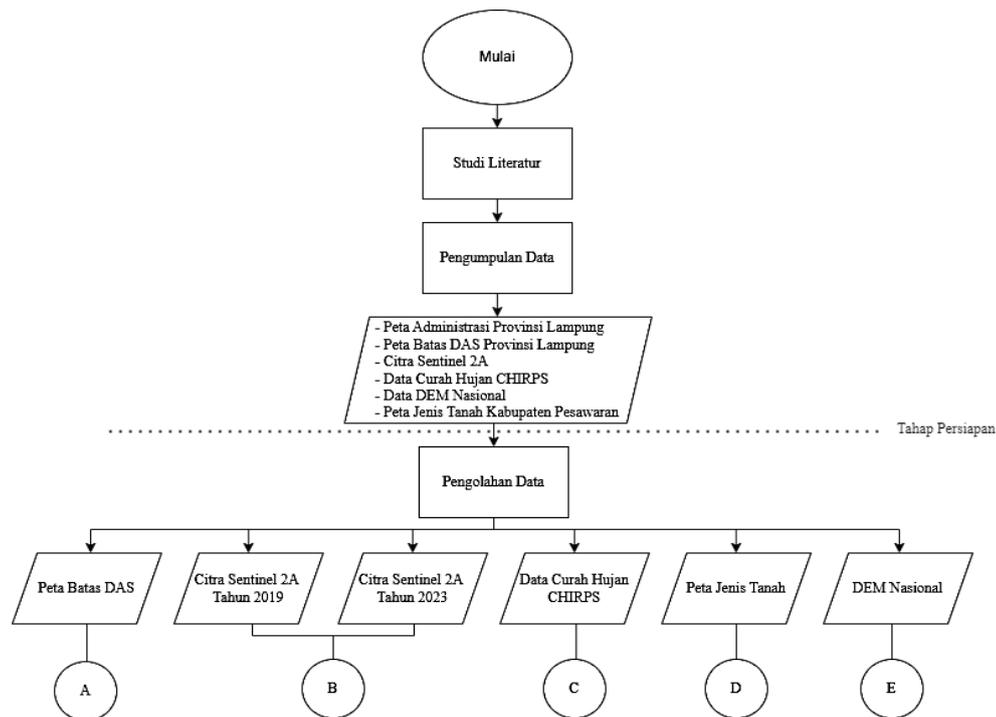
Data yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam tabel berikut:

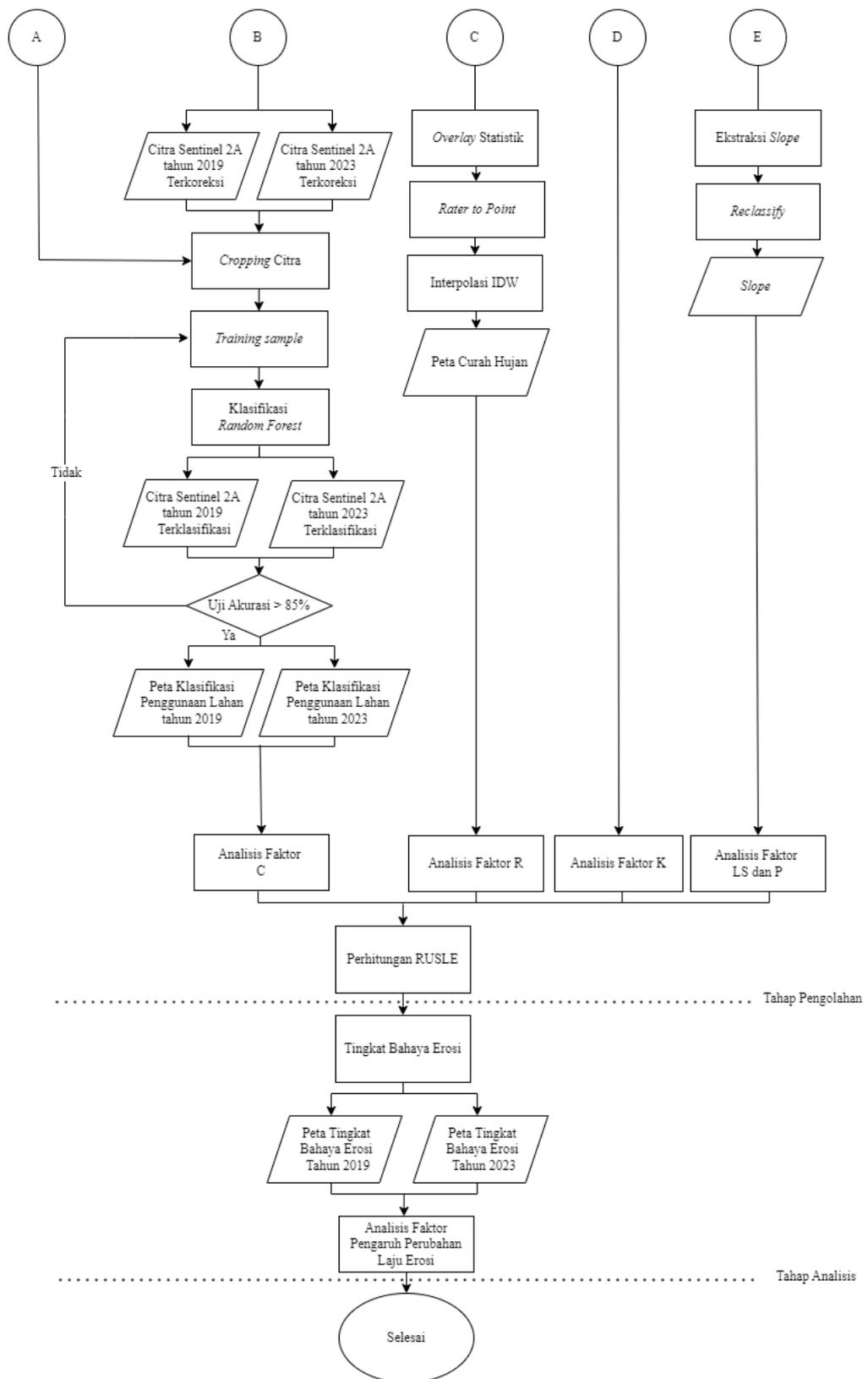
Tabel 8. Data Penelitian

No	Nama Data	Tipe Data	Sumber
1	Peta Administrasi Kabupaten Pesawaran Tahun 2019	Vektor	Bappeda Kabupaten Pesawaran
2	Peta jenis tanah Kabupaten Pesawaran Tahun 2019	Vektor	Bappeda Kabupaten Pesawaran
3	Data curah hujan tahunan	Raster	Website CHIRPS
4	Peta Batas DAS Way Ratai Tahun 2020	Vektor	BPDAS-HL
5	Peta Aliran Sungai Provinsi Lampung Tahun 2020	Vektor	BPDAS-HL
6	Data Citra Sentinel 2A Kabupaten Pesawaran Tahun 2019 dan 2023 Band 4,3,2, dan NIR	Raster	<i>Google Earth Engine</i>
7	Data DEM Nasional Kabupaten Pesawaran	Raster	Website DEMNAS
8	Data Citra <i>Google Earth</i> tahun 2019 dan 2023 resolusi 1 meter	Raster	<i>Google Earth Pro</i>

### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Secara umum alur penelitian yang dilakukan disajikan pada gambar berikut.





Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

### 3.5 Tahap Persiapan

Tahap persiapan pada penelitian ini berupa studi pustaka dan pengumpulan data. Studi pustaka yaitu mempelajari teori-teori yang berkaitan dengan penelitian ini. Sedangkan, pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh data sekunder yang diperoleh dengan melakukan survei ke instansi terkait yaitu Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda), serta diperoleh melalui *website* penyedia data *online* yang dibutuhkan seperti CHIRPS, DEMNAS, *Google earth engine*, dan sebagainya.

### 3.6 Tahap Pengolahan Data

Berikut ini adalah tahapan dalam pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

#### 3.6.1 Pengolahan Citra Sentinel 2A

Citra Sentinel 2A digunakan untuk memperoleh peta penggunaan lahan sebagai faktor pengelolaan tanaman (C). Citra Sentinel 2A diperoleh dari *google earth engine*. Citra yang digunakan adalah Citra Sentinel 2A tahun 2019 dan 2023 dengan *cloud cover* 5%. Perolehan citra tersebut menggunakan bahasa pemrograman yang telah tersedia di *platform* GEE yaitu *python*. Berikut *text* pemrograman yang digunakan.

```
Map.addLayer(AOI);
```

```
function maskS2clouds(image) {
```

```
  var qa = image.select('QA60');
```

```
  // Bits 10 and 11 are clouds and cirrus, respectively.
```

```
  var cloudBitMask = 1 << 10;
```

```
  var cirrusBitMask = 1 << 11;
```

```
  // Both flags should be set to zero, indicating clear conditions.
```

```

var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0)
    .and(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));

return image.updateMask(mask).divide(10000);
}

var citra = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED')
    .filterDate('2023-01-01', '2023-12-31')
    // Pre-filter to get less cloudy granules.
    .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE',5))
    .map(maskS2clouds)
    .median()
    .clip(AOI);

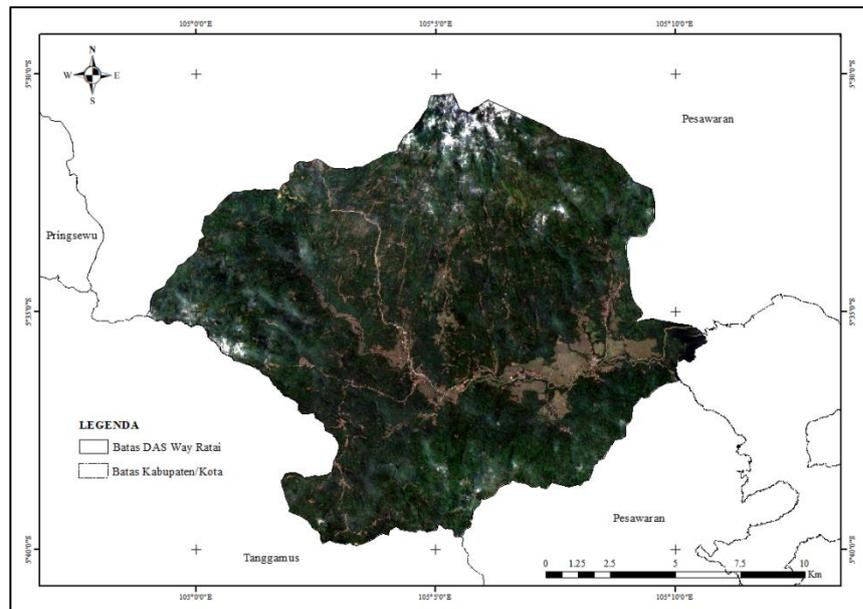
var visualization = {
  min: 0.0,
  max: 0.3,
  bands: ['B4','B3','B2'],
};

Map.centerObject(AOI, 15);

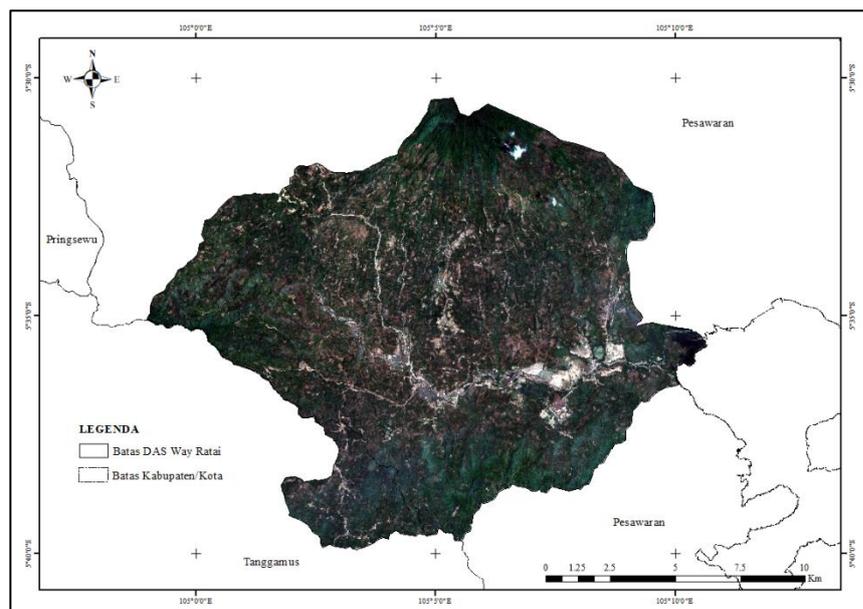
Map.addLayer(citra, visualization, 'RGB');

Export.image.toDrive({
  image: citra.select('B4','B3','B2'),
  description: 'citracentiel',
  folder : 'Sentinel',
  scale: 10,
  region: AOI,
  maxPixels: 10e10,
fileFormat : "GeoTIFF" });

```



Gambar 6. Citra Sentinel 2A tahun 2019



Gambar 7. Citra Sentinel 2A tahun 2023

Setelah diperoleh citra Sentinel 2A, citra tersebut selanjutnya diolah pada *software* SAGA. Peta penggunaan lahan berdasarkan klasifikasi citra menggunakan metode *machine learning* yaitu *random forest*. Klasifikasi citra dengan metode *random forest* dilakukan melalui pembentukan pohon (*tree*) dengan melakukan *training* pada *sample* data yang dimiliki. Perhitungan jumlah *training sample* menggunakan persamaan 3 sebagai berikut:

Diketahui :

$A$  = Jumlah Titik *Sample*

$TSM = 20$

Luas = 21.971 Ha

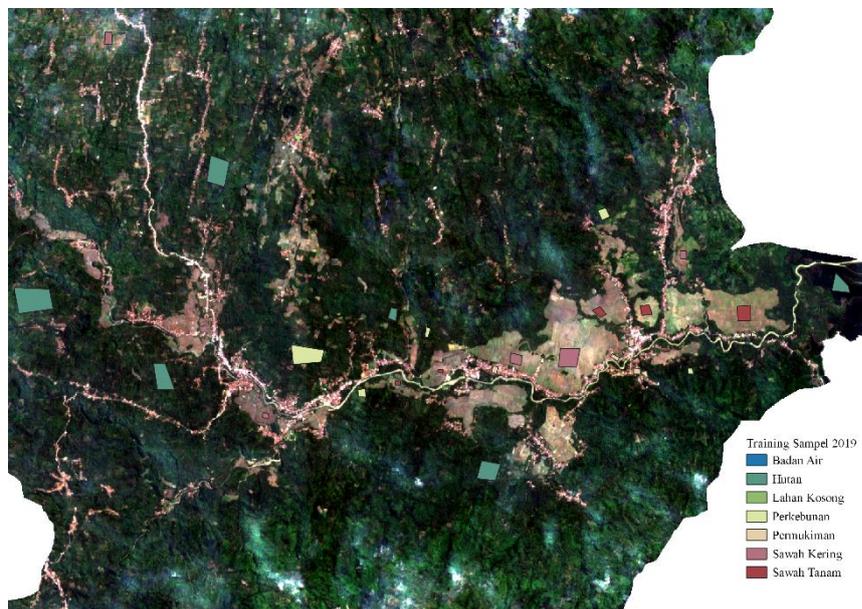
Maka,

$$A = TSM + \left( \frac{\text{Luas}}{1.500} \right)$$

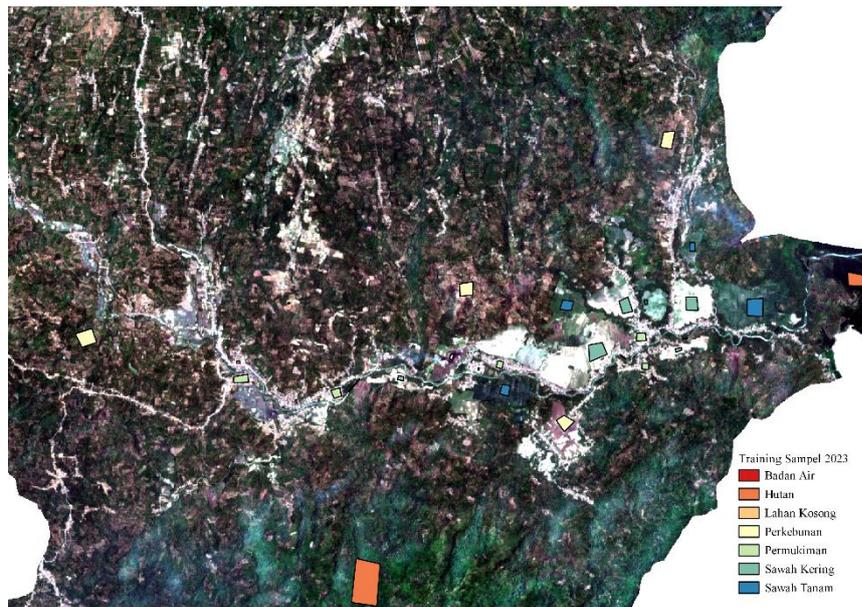
$$A = 20 + \left( \frac{21.971}{1.500} \right)$$

$$A = 34,64 = 35$$

Pembuatan *training sample* berdasarkan kebutuhan kelas yang ditentukan dengan jumlah 35 titik. *Training sample* yang dibuat secara random berdasarkan pengamatan operator. Kelas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu hutan, perkebunan, sawah tanam, sawah lahan kering, lahan kosong, permukiman, dan badan air.



Gambar 8. *Training Sample* tahun 2019



Gambar 9. *Training Sample* tahun 2023

Sebanyak 7 kelas klasifikasi penggunaan lahan di DAS Way Ratai di sesuaikan data *training sample*, hasil klasifikasi, dan *google earth engine*. Kelas penggunaan lahan di DAS Way Ratai yaitu Sawah Tanam (0), Sawah Kering (1), Badan Air (2), permukiman (3), Perkebunan (4), Hutan (5), dan Lahan Kosong (6).

Sebelum melakukan klasifikasi *random forest* hal yang perlu dilakukan adalah *Input* citra Sentinel 2A, *input training sample*, dan menentukan tuning parameter. Tuning parameter yang digunakan adalah *n tree* 500, *minimum node size* 10, dan *mtry* = k. Klasifikasi *random forest* dilakukan menggunakan perangkat Vigma pada perangkat lunak SAGA 9.4.1.

Setelah dilakukan klasifikasi selanjutnya hasil klasifikasi citra di uji dengan *confusion matrix* dari hasil validasi menggunakan *google earth pro*. Perhitungan jumlah titik uji yang digunakan menggunakan persamaan 4 sebagai berikut:

Diketahui :

$n$  = *Sample*

$N$  = Populasi = 3.830.454

$d$  = Galat pendugaan/kekeliruan = 0,1

maka,

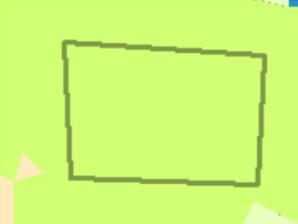
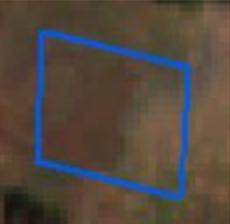
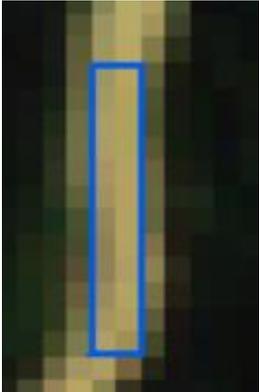
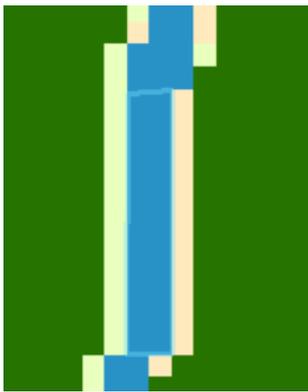
$$n = \frac{N}{N \cdot (d)^2 + 1}$$

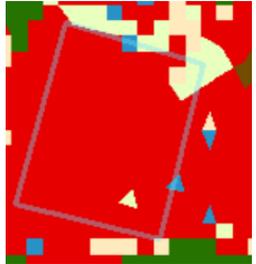
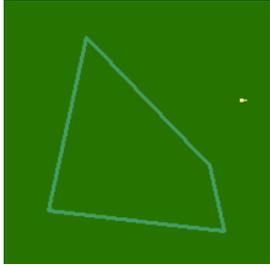
$$n = \frac{3.830.454}{3.830.454 \times (0,1)^2 + 1} = \frac{3.830.454}{38.305,54} = 99,99$$

$$n = 100$$

Observasi klasifikasi penggunaan lahan Tahun 2019 disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 9. Observasi klasifikasi penggunaan lahan tahun 2019 di DAS Way Ratai

Id	<i>Training Sample</i> pada citra	Penggunaan Lahan 2019	Pengamatan <i>Google Earth</i>
0			
1			
2			

Id	<i>Training Sample</i> pada citra	Penggunaan Lahan 2019	Pengamatan <i>Google Earth</i>
3			
4			
5			
6			

Pada tabel diatas merupakan contoh observasi yang dilakukan terhadap tutupan lahan yang dihasilkan dari metode *random forest* yang telah dilakukan. Titik uji dengan total keseluruhan 100 titik dan titik plot 70% dari total keseluruhan yaitu 70 titik. Titik uji dibuat dengan jumlah setiap kelasnya 10 titik. Uji akurasi dihitung menggunakan *confusion matrix* hasilnya harus lebih dari 85% berdasarkan ketentuan yang ada agar dapat dipercaya hasilnya. jika sudah memenuhi syarat data tersebut dapat digunakan pada tahap selanjutnya.

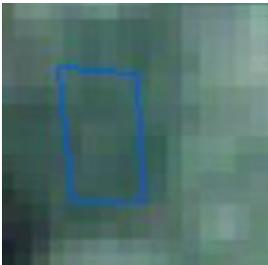
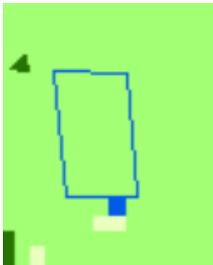
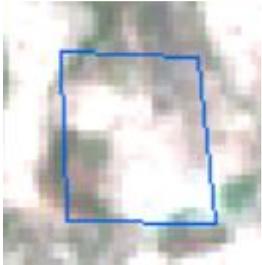
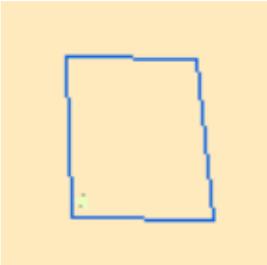
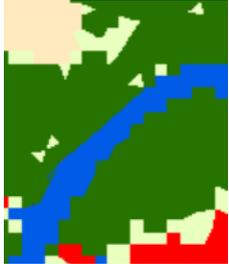
Uji akurasi peta penggunaan lahan tahun 2019 dilakukan menggunakan *confusion matrix* berdasarkan *producer's* dan *user's accuracy*. Kemudian akan menghasilkan

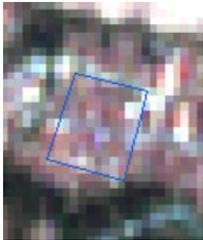
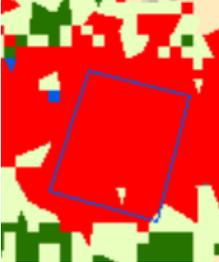
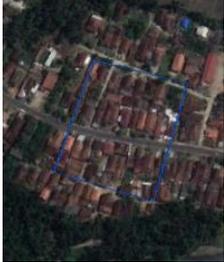
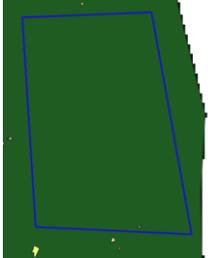
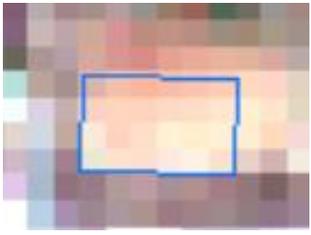
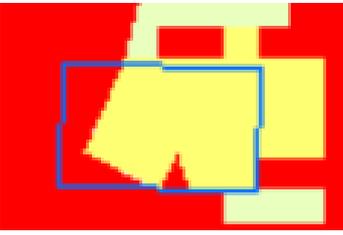
nilai *overall accuracy* dan indeks *kappa*. Nilai yang dihasilkan pada perhitungan ini yaitu nilai *overall accuracy* 91,43% dengan indeks *kappa* 90,00%.

Klasifikasi penggunaan lahan di DAS Way Ratai tahun 2023 di sesuaikan juga data *training sample*, hasil klasifikasi, dan titik uji akurasi. Uji akurasi dilakukan dengan *confusion matrix* dengan menggunakan 70 titik *testing*. Jumlah titik *testing* tersebut diperoleh berdasarkan perhitungan yang sama menggunakan metode Slovin.

Sebanyak 7 kelas klasifikasi penggunaan lahan di DAS Way Ratai di sesuaikan data *training sample*, hasil klasifikasi, dan *google earth engine*. Kelas penggunaan lahan di DAS Way Ratai yaitu Sawah Tanam (0), Sawah Kering (1), Badan Air (2), permukiman (3), Perkebunan (4), Hutan (5), dan Lahan Kosong (6). Observasi klasifikasi penggunaan lahan Tahun 2023 disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 10. Observasi klasifikasi penggunaan lahan tahun 2023 di DAS Way Ratai

Id	<i>Training Sample</i> pada citra	Penggunaan Lahan 2023	Pengamatan <i>Google Earth</i>
0			
1			
2			

Id	<i>Training Sample</i> pada citra	Penggunaan Lahan 2023	Pengamatan <i>Google Earth</i>
3			
4			
5			
6			

Observasi dilakukan berdasarkan *training sampel*, hasil klasifikasi, dan pengamatan *google earth*. Pada tabel diatas merupakan contoh dalam observasi yang dilakukan. Uji akurasi peta penggunaan lahan tahun 2023 dilakukan menggunakan *confusion matrix* menghasilkan nilai *overall* akurasi 94,28% dengan indeks *kappa* 93,33%.

### 3.6.2 Pengolahan Data Curah Hujan

Data curah hujan yang diperoleh melalui website *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation withahun Station Data* (CHIRPS). Pengolahan data curah hujan

dilakukan dengan *software* ArcGIS. Peta curah hujan digunakan untuk memperoleh faktor erosivitas hujan (R) Data yang digunakan yaitu data curah hujan tahun 2010 sampai dengan tahun 2019 untuk menentukan nilai erosivitas hujan (R) tahun 2019 dan data curah hujan tahun 2014 sampai dengan tahun 2023 untuk menentukan nilai erosivitas hujan (R) tahun 2023.

Data curah hujan per satu tahunnya dilakukan *overlay* statistik *sum*, kemudian menghilangkan data kurang dari 0 menggunakan *raster calculator* dengan rumus  $\text{SetNull} ("CH" < 0, "CH")$ . Tahapan tersebut dilakukan pada data curah hujan setiap tahunnya. Selanjutnya melakukan perhitungan rata-rata nilai curah hujan dalam 10 tahun menggunakan *overlay* statistik *mean*. Pembuatan peta rata-rata curah hujan tahunan menggunakan metode IDW (*Inverse Distance Weighted*). Metode tersebut merupakan metode yang bekerja dengan cara nilai bobot yang lebih besar terdapat pada titik yang memiliki jarak lebih dekat dari lokasi yang diperkirakan. Peta rata-rata curah hujan tahunan ini dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai R menggunakan rumus 2. Nilai R yang dihasilkan memiliki satuan mm/tahun.

### **3.6.3 Pengolahan Data Jenis Tanah**

Peta Jenis Tanah digunakan beberapa jenis tanah sebagai faktor erodibilitas tanah (K). Metode penentuan nilai tanah (K) berdasarkan peta jenis tanah, dengan menggunakan data jenis tanah di wilayah tersebut dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda). Kemudian menyesuaikan nilai tanah dengan klasifikasi nilai tanah yang telah ditetapkan. Nilai erodibilitas tanah terdiri dari 0 sampai 1, interval nilai tersebut tersaji dalam tabel 2.

### **3.6.4 Pengolahan Data DEM Nasional**

Data DEMNAS digunakan untuk menentukan faktor panjang dan kemiringan lereng (LS). Penentuan faktor tersebut didapatkan melalui pemrosesan data DEMNAS. Data DEMNAS dengan resolusi 8 meter di lakukan ekstraksi *slope*, kemudian di *reclassify* menjadi 5 kelas yaitu 0-8%, 8-15%, 15-25%, 25-45%, dan >45%. Data *slope* yang dihasilkan menjadi 5 kelas digunakan sebagai faktor

panjang dan kemiringan lereng untuk menentukan nilai LS yang terdapat pada tabel 3.

Data DEMNAS yang sama di lakukan ekstraksi *slope*, kemudian di *reclassify* menjadi 5 kelas yaitu 1-3%, 3-8%, 8-15%, 15-25%, dan >25%. Data *slope* akan digunakan untuk menentukan faktor konservasi tanah (P) dalam penelitian ini berdasarkan nilai *slope* atau kemiringan lereng. Nilai P berdasarkan *slope* disajikan dalam P.32/MENHUT-II/2009 pada tabel 5.

### 3.6.5 Perhitungan Metode RUSLE

RUSLE dapat memprediksikan laju erosi rata-rata lahan tertentu pada lahan yang memiliki jenis tanah yang berbeda-beda, kemiringan lahan dengan pola curah hujan tertentu, dan penerapan dalam pengelolaan lahan. Perhitungan nilai RUSLE dilakukan pada *software* ArcGIS dengan menggunakan *tools raster calculator*. Nilai RUSLE yang dihasilkan untuk penentuan tingkat bahaya erosi sebagai arahan menentukan kebijakan penggunaan lahan konservasi tanah agar tidak terjadi kerusakan tanah dan tanah dapat digunakan secara produktif dan berkelanjutan. RUSLE di perhitungkan berdasarkan pada rumusan 1 dengan faktor-faktor yang telah ditentukan yaitu faktor erosivitas hujan (R), faktor erodibilitas Tanah (K), faktor panjang dan kemiringan lereng (LS), faktor pengelolaan tanaman (C), dan faktor konservasi lahan (P). Hasil yang diperoleh nilai prediksi banyaknya tanah tererosi ( $E_a$ ) yaitu dalam satuan ton/ha/tahun.

### 3.7 Tahap Analisis

Tahap analisis meliputi penentuan kelas tingkat bahaya erosi dan faktor pengaruh perubahan laju erosi. Penentuan tingkat bahaya erosi merupakan memperkirakan jumlah maksimum tanah yang akan hilang pada suatu lahan. Pengelolaan tanaman kurang baik dan tindakan konservasi tanah yang tidak mengalami perubahan menjadi sebab lahan kehilangan tanah secara perlahan. Erosi tanah dapat berubah menjadi bencana besar bila laju erosi lebih cepat daripada laju pembentukan tanah. Berikut tingkatan kelas bahaya erosi tersaji dalam tabel 11.

Tabel 11. Kelas tingkat bahaya erosi

No.	Kelas Bahaya Erosi	Erosi (ton/ha/tahunan)	Kelas Erosi
1	I	< 15	Sangat Ringan
2	II	15 – 60	Ringan
3	III	60 – 180	Sedang
4	IV	180 – 480	Berat
5	V	>480	Sangat Berat

Sumber : Departemen Kehutanan, 2009

Analisis faktor pengaruh perubahan laju erosi dengan memperhatikan parameter-parameter terkait yaitu Faktor erosivitas hujan (R), Faktor Erodibilitas Tanah (K), Faktor Panjang (L) dan Kemiringan Lereng (S), Faktor vegetasi pengelolaan tanaman(C), dan Faktor tindakan konservasi tanah (P). Diantara parameter-parameter tersebut yang bersifat dinamis/berubah-ubah perlu diperhatikan seperti faktor curah hujan (R) dan faktor penggunaan lahan dalam pengelolaan tanaman (C).

Analisis faktor perubahan penggunaan lahan pada tahun 2019 dan 2023 diperhatikan dari luasan tiap kelas penggunaan lahan. Analisis ini dilakukan menggunakan *pivot table* pada *software microsoft excel*. Luasan yang mengalami perubahan paling besar adalah faktor yang sangat mempengaruhi laju erosi. Analisis terhadap prediksi tingkat bahaya erosi yang dihasilkan pada prediksi tahun 2019 dan 2023 dilakukan perbandingan hasil berdasarkan luasan tingkat bahaya erosi di setiap desa yang ada di Daerah Aliran Sungai Way Ratai.

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis mengenai perubahan penggunaan lahan terhadap tingkat bahaya erosi yang telah dilakukan peneliti, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan lahan di DAS Way Ratai pada tahun 2019 dan tahun 2023 memiliki banyak perubahan. Perubahan didominasi pada lahan hutan dan lahan perkebunan, karena adanya alih fungsi lahan hutan menjadi perkebunan. Pada tahun 2023 luas hutan berkurang 6.506,07 Ha dan luas perkebunan bertambah 6.704,34 Ha.
2. Tingkat bahaya erosi di DAS Way Ratai pada tahun 2019 dan 2023 memiliki perubahan yang besar yaitu pada kelas TBE V yaitu erosi sangat berat mengalami peningkatan senilai 25,66% dan kelas TBE I mengalami pengurangan 25,92%. Kelas TBE II mengalami pengurangan 7,12%, kelas TBE III mengalami peningkatan 5,46%, dan kelas TBE IV mengalami peningkatan 1,95%.
3. Pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap tingkat bahaya erosi yang terjadi di DAS Way Ratai sangat berpengaruh pada lahan perkebunan, lahan kosong, dan sawah kering. Sehingga semakin tinggi nilai C maka akan semakin berpengaruh terhadap nilai laju erosi yang dihasilkan. Hal ini menjadi salah satu bukti bahwa metode RUSLE sangat sensitif terhadap penggunaan lahan.

## 5.2 Saran

Terdapat beberapa hal yang dapat penulis rekomendasikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan perubahan penggunaan lahan terhadap tingkat bahaya erosi agar mendapatkan hasil yang lebih baik adalah sebagai berikut:

1. Penentuan faktor erosivitas hujan lebih baik menggunakan data curah hujan bulanan/tahunan dari instansi terkait, karena penulis memiliki keterbatasan dalam memperoleh data curah hujan dari instansi yaitu hanya diizinkan dalam rentang 5 tahun, sedangkan penulis membutuhkan data 14 tahun dan data CHIRPS yang digunakan pada penelitian ini bersifat global.
2. Pengolahan citra Sentinel 2A pada area yang memiliki ketinggian yang variatif lebih baik dilakukan koreksi *terrain* sebelum dilakukan klasifikasi citra.
3. Penentuan kelas pada penggunaan lahan dapat dispesifikasikan jenis kelas perkebunan, karena jenis jenis tanaman di perkebunan mungkin akan memiliki kemampuan atau nilai C yang berbeda-beda.
4. Uji Akurasi perlu dilakukan dengan jumlah titik *testing* lebih banyak untuk mengetahui keakuratan metode RUSLE dalam memprediksi erosi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adisasmitha, S. A., Rauf, S., dan Sidra. 2018. Analisis Karakteristik Model Spasial Kabupaten Gowa Berbasis GIS dan Remote Sensing Menggunakan Citra Landsat. *Jurnal Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*.
- Ardani, D. P. 2020. Analisis Tingkat Bahaya Erosi Pada Sub DAS Biting, Arjasa, dan Baratan Kecil Kabupaten Jember. In *Skripsi*. Universitas Jember.
- Ardyodyantoro, G. 2014. Pemanfaatan Google Earth Dalam Pembelajaran Geografi Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa Kelas X SMA Widya Kutoarjo. *Yogyakarta: UNY.*, 129.
- Arsyad, S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air* (Edisi kedua). IPB Press.
- Belgiu, M., dan Drăgu, L. 2016. Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
- BIG. 2014. *Peraturan Big Nomor 8 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Pengumpulan Dan Pengolahan Data Geospasial Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal*, 8(33), 44.
- Danoedoro. 2012. *Modul konsep dasar penginderaan jauh* (Issue Danoedoro).
- Departement Kehutanan. 2009. *Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor : P. 32/Menhut-Ii/2009 Tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan Dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RTkRHL-DAS)* (Vol. 1).
- Djangu, A., Rondonuwu, D. M., dan Sela, R. L. E. 2017. Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Di Kawasan Tepi Danau Galela Kabupaten Halmahera Utara. *Spasial*, 4(3), 96–107.

- Edwin. 2021. *Optimasi Penggunaan Lahan Pertanian pada Batas Toleransi Erosi dan Hubungannya dengan Pendapatan Petani di Sub Daerah Aliran Sungai Sumpur Singkarak*.
- Ganasri, B. P., dan Ramesh, H. 2015. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6), 953–961. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007>
- Hadi, F., Syafjanuar, T. E., Arrahman, N., dan Ramli, I. 2023. Nilai Erosi dengan Metode Rusle dari Pemanfaatan Citra Sentinel-2 di Wilayah Sungai Pasee Peusangan. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 11(2), 172–187. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v11i2.523>
- Hagras, A. 2023. Estimating water erosion in the EL-Mador Valley Basin, South-West Matrouh City, Egypt, using revised universal soil loss equation (RUSLE) model through GIS. In *Environmental Earth Sciences* (Vol. 82, Issue 1). <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10722-0>
- Kadir, S. 2016. *Klasifikasi Daerah Aliran Sungai*. hal. 119.
- Karyati. 2016. Penaksiran Indeks Erosivitas Hujan Di Kuching, Sarawa. *Jurnal Badan Penelitian Dan Pengembangan Daerah*, 2, 38–45.
- Manakane, S. E., Rakuasa, H., dan Latue, P. C. 2023. Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis untuk Identifikasi Perubahan Tutupan Lahan di DAS Marikurubu, Kota Ternate. *Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 1(Juli), 51–60. <https://doi.org/10.56211/tabela.v1i2.301>
- Mangsur. 2021. *Identifikasi Banjir Sungai Way Ratai ( Studi Kasus : Kecamatan Way Ratai Kabupaten Pesawaran )*. 1(1).
- Olorunfemi, I. E., Komolafe, A. A., Fasinmirin, J. T., Olufayo, A. A., dan Akande, S. O. (2020). A GIS-based assessment of the potential soil erosion and flood hazard zones in Ekiti State, Southwestern Nigeria using integrated RUSLE and HAND models. *Catena*, 194(January), 104725. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104725>

- Pamungkas, D. 2020. Pemetaan Tingkat Bahaya Erosi dengan Metode RUSLE do SUB DAS Garang Hulu. *Tugas Akhir Jurusan Geografi UNNES*, 169.
- Peraturan Direktur Jendral Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial. 2013. *Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor : P.8/Menhut-Ii/2013 Tentang Pedoman Umum Pengembangan Perhutanan Masyarakat Pedesaan Berbasis Konservasi* (Vol. 369, Issue 1).
- Rahmi Putri, A., Purnamasari, R., dan Edwar. 2022. Perbandingan Metode Klasifikasi Pemetaan Tutupan Lahan Menggunakan Algoritma Machine Learning Pada Citra Satelit Dengan Google Earth Engine Mapping Land Cover Classification Using Machine Learning Comparison of Satellite Images with Google Earth Engine. *E-Proceeding of Engineering*, 9(2355–9365), 3753.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., dan Porter, J. P. 1991. RUSLE: revised universal soil loss equation. *Journal of Soil & Water Conservation*, 46(1), 30–33.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., dan Porter, J. P. 1997. *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)* (p. 300).
- Sadewo, W., Subagiada, K., dan Djayus, D. 2023. Analisis Klasifikasi Laju Erosi Menggunakan Metode Universal Soil Loss Equation (Usle) Dengan Sig Di Kota Samarinda. *Geosains Kutai Basin*, 6(1), 53. <https://doi.org/10.30872/geofisunmul.v6i1.1011>
- Setiawan, N. 2007. Penentuan Ukuran Sampel Memakai Rumus Slovin Dan Tabel Krejcie-Morgan : Telaah Konsep Dan Aplikasinya. *Diskusi Ilmiah Jurusan Sosial Ekonomi Fakultas Peternakan UNPAD*, November, 1–10. [http://pustaka.unpad.ac.id/wp-content/uploads/2009/03/penentuan\\_ukuran\\_sample\\_memakai\\_rumus\\_Slovin.pdf](http://pustaka.unpad.ac.id/wp-content/uploads/2009/03/penentuan_ukuran_sample_memakai_rumus_Slovin.pdf)
- Sharma, A., Tiwari, K. N., dan Bhadoria, P. B. S. 2011. Effect of land use land cover change on soil erosion potential in an agricultural watershed.

*Environmental Monitoring and Assessment*, 173(1–4), 789–801.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-010-1423-6>

Siska, W., Widiatmaka, W., Setiawan, Y., dan Adi, S. H. 2022. Pemetaan Perubahan Lahan Sawah Kabupaten Sukabumi Menggunakan Google Earth Engine. *Tataloka*, 24(1), 74–83. <https://doi.org/10.14710/tataloka.24.1.74-83>

Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Liou, Y.-A., dan Rahman, A. 2020. *Land-Use Land-Cover Classification by Machine Learning Classifiers for Satellite Observations—A Review*.

Tarigan, D. R., dan Mardiatno, D. 2012. *Pengaruh Erosivitas Dan Topografi Terhadap Kehilangan Tanah Pada Erosi Alur Di Daerah Aliran Sungai Secang Desa Hargotirto Kecamatan Kokap Kabupaten Kulonprogo*. <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/144911>

Tommy Arisandy, Slamet Budi Yuwono, Irwan Sukri Banuwa, Endro Prasetyo Wahono, Dyah Indriana Kusumastuti, dan D. T. E. 2023. Estimasi Tingkat Bahaya Erosi Dengan Menggunakan Metode Usle Dan Arah Konservasi Pada Das Semangka, Lampung. *Jurnal Hutan Tropis*, 11(3), 402–411.

Tridawati, A., Armijon, A., Yanto, F., dan Novianti, T. C. 2023. Pemetaan Distribusi Hutan Mangrove Menggunakan Algoritma Machine Learning di Kawasan Hutan Mangrove Petengoran. *Jurnal Tekno Insentif*, 17(2), 84–98. <https://doi.org/10.36787/jti.v17i2.1101>

Tutuarima, C. T., Talakua, S. M., dan Osok, R. M. 2021. Penilaian Degradasi Lahan dan Dampak Sedimentasi terhadap Perencanaan Bangungan Air di Daerah Aliran Sungai Wai Ruhu, Kota Ambon. *Jurnal Budidaya Pertanian*, 17(1), 43–51. <https://doi.org/10.30598/jbdp.2021.17.1.43>

Zulrihad, D. H. 2022. *Pemanfaatan Citra Penginderaan Jauh*.