

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

Vanny Fadhilah Puspita Ningrum¹, Fajriyanto² Anggun Tridawati³

^{1,2,3}Universitas Lampung ; Jl. Prof. Dr. Soematri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145

^{1,2,3} Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika FT – UNILA

vannyfadhilahpuspitaningrum@gmail.com

(Diterima 30 Juni 2024, Disetujui 24 Desember 2024)

Abstrak

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

1. Pendahuluan

Daerah Aliran Sungai (DAS) Way Ratai termasuk dalam titik rawan longsor dan erosi. Erosi menjadi salah satu penyebab utama terjadinya kerusakan tanah. 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 [4]. Kebutuhan manusia terhadap lahan yang semakin meningkat dari waktu ke waktu sehingga terjadinya alih fungsi lahan Daerah Aliran Sungai (DAS) menjadi penggunaan lain [3]. Lahan DAS juga sangat rentan

terhadap erosi tanah oleh air terutama karena tanahnya yang rentan terhadap erosi.

wilayah DAS Way Ratai terjadi banjir pada tahun 2019 beberapa bangunan telah terbawa erosi, serta beberapa luas persawahan longsor [7]. 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 m³/tahun, elevasi, dan vegetasi menjadi faktor yang mempengaruhi laju erosi tanah di DAS Way Ratai.

Tingkat bahaya erosi pada penelitian ini. 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. Citra Sentinel 2A dipilih karena dianggap mampu menghasilkan akurasi yang lebih baik dibandingkan Landsat 8 untuk deteksi perubahan lahan, monitoring hutan, dan mitigasi bencana [12]. Sedangkan, Metode random forest digunakan karena metode ini terbaik untuk klasifikasi penggunaan lahan, dengan memiliki tingkat akurasi yang tinggi [11].

Melihat sering terjadinya bencana di wilayah tersebut, maka perlu diketahui tingkat bahaya erosi yang akan terjadi mengingat penggunaan lahan setiap tahunnya berpotensi mengalami perubahan. faktor perubahan penggunaan lahan berpengaruh terhadap tingkat bahaya erosi perlu diketahui sebagai informasi untuk meningkatkan kewaspadaan. Kombinasi antara RUSLE, GIS dan data penginderaan jauh dapat menghasilkan hasil yang lebih akurat [4].

2. Tinjauan Pustaka

2.1 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. 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.

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 pengelompokkan.

2.2 Erosi

Erosi tanah adalah proses pengikisan pada bagian atas dan penimbunan pada bagian bawah. 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.

2.3 Metode Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

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 direncanakan memperkirakan erosi dalam jangka panjang di bawah kondisi tertentu. RUSLE telah banyak digunakan dalam memperkirakan erosi tanah dan sedimentasi [5]. Persamaan RUSLE yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut [9]:

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

Keterangan:

Ea = Tanah Tererosi (ton/ha/tahun)

R = Erosivitas Hujan

K = Erodibilitas Tanah

LS = Panjang dan Kemiringan Lereng

C = Vegetasi Pengelolaan Tanaman

P = Tindakan Konservasi Tanah

Erosivitas adalah kemampuan hujan yang dapat melakukan erosi tanah. Erosivitas hujan tahunan yang dapat dihitung dari data curah hujan yang diperoleh dari pengukur hujan. Faktor erosivitas hujan dihitung tahunan menggunakan persamaan yang dikeluarkan oleh Lenvain pada tahun 1989 sebagai berikut [6]:

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

Keterangan:

R = Indeks erosivitas bulanan

CH = Curah hujan tahunan (mm)

Erodibilitas tanah adalah faktor kepekaan tanah terhadap erosi. Jika erodibilitas suatu tanah tinggi maka lahan tersebut menjadi penyebab terjadi erosi yang besar dan sebaliknya. Klasifikasi nilai tanah (K) sesuai peta jenis tanah dapat dilihat pada tabel berikut [10].

Tabel 1. Nilai tanah (K)

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

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 [11]. Berikut ini klasifikasi kelas panjang dan kemiringan lereng berdasarkan pengolahan data DEM menjadi data *slope* [1].

Tabel 2. Kelas faktor 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

Faktor Pengelolaan tanaman mewakili jumlah kehilangan tanah pada tutupan vegetasi [5]. Faktor C yang merupakan pengaruh vegetasi terhadap erosi tanah, diperoleh dari peta penggunaan lahan, diperoleh dari pengolahan data citra Sentinel 2A, menggunakan metode *machine learning* yaitu *random forest*. Berikut sajian indeks pengelolaan tanaman (C) [2,14].

Tabel 3. Nilai indeks faktor (C)

No	Jenis Tanaman	Nilai C
1	Padi sawah	0,01
2	Padi gogo (sawah kering)	0,53

No	Jenis Tanaman	Nilai C
3	Perkebunan	0,5
4	Tanah kosong	1,0
5	Hutan terganggu (hutan konservasi)	0,005

Tabel 4. Nilai indeks faktor C

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

Tindakan konservasi tanah (P) adalah 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* [1].

Tabel 5. Nilai indeks faktor 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

2.3 Klasifikasi Random Forest

Klasifikasi RF adalah pengelompokan yang menghasilkan beberapa pohon keputusan, menggunakan subset *training sample* dan variabel yang dipilih secara acak. 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. Algoritma RF dijalankan memperhatikan tuning parameter yang digunakan yaitu *ntree* 500, *minimum node size* 10, dan *mtry* = k. Klasifikasi *random forest* untuk menghasilkan peta penggunaan lahan dengan menggunakan perangkat Vigna pada perangkat lunak SAGA 9.4.1.

2.3 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*. Akurasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah nilai *kappa coefficient* dan *overall accuracy* kemudian dilakukan perhitungan juga nilai *producer's accuracy*, *user's accuracy*.

producer's accuracy, *user's accuracy*, *overall accuracy*, Nilai *kappa coefficient* ditentukan menggunakan rumus berikut [8]:

$$\text{Producer accuracy} = \left(\frac{X_{AA}}{\sum X+A} \right) \times 100 \quad (3)$$

$$\text{User accuracy} = \left(\left(\frac{X_{AA}}{\sum X+A} \right) \times 100 \right) \times 100 \quad (4)$$

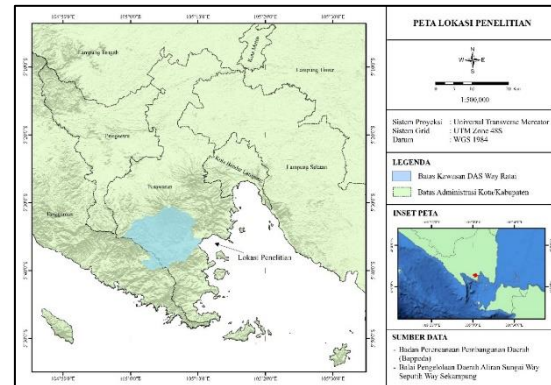
$$\text{Overall accuracy} = \left(\frac{\text{Total nilai yang sesuai}}{\text{Total seluruh}} \right) \times 100 \quad (5)$$

$$\text{Kappa Coefficient} = \left(\frac{(TS \times TCS) - \sum (\sum \text{column} \times \sum \text{column row})}{(TS)^2 - \sum (\sum \text{column} \times \sum \text{column row})} \right) \times 100 \quad (6)$$

3. Metode Penelitian

3.1 Lokasi dan Waktu 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. Pelaksanaan penelitian dilakukan dalam waktu 3 bulan. Dimulai pada bulan April sampai dengan Juli 2024.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

3.2 Alat dan Data

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

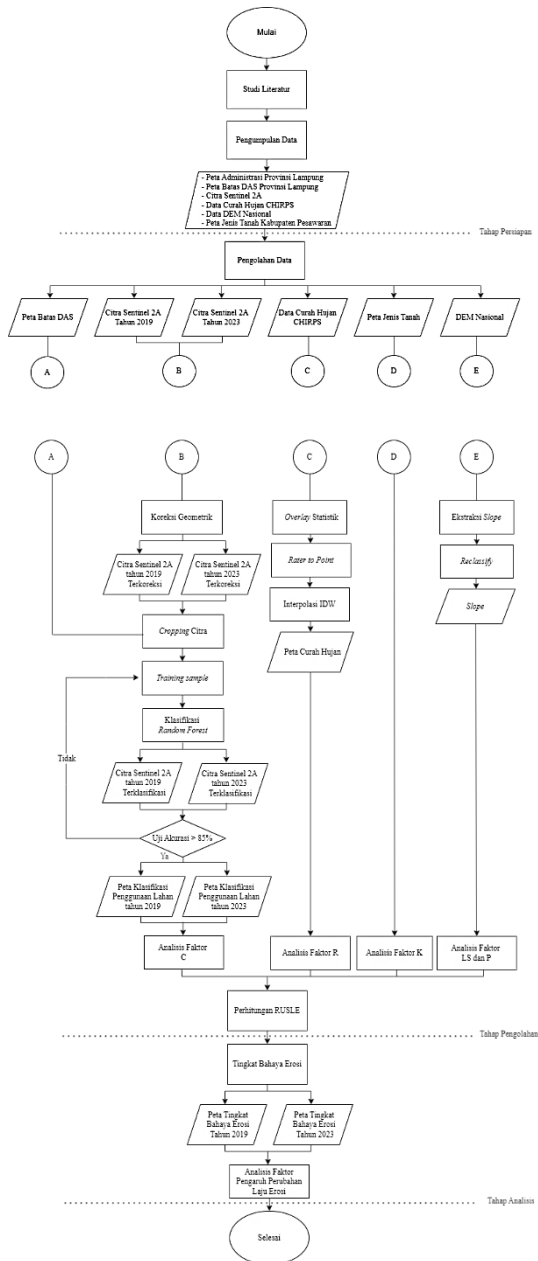
1. Laptop
2. Handphone
3. *Software* pengolahan data spasial
4. *Software Microsoft Excel*
5. *Software Microsoft Word*

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah berikut:

1. Peta Administrasi Kabupaten Pesawaran Tahun 2019
2. Peta jenis tanah Kabupaten Pesawaran Tahun 2019
3. Data curah hujan tahunan
4. Peta Batas DAS Way Ratai Tahun 2020
5. Peta Aliran Sungai Provinsi Lampung Tahun 2020
6. Data Citra Sentinel 2A Kabupaten Pesawaran Tahun 2019 dan 2023 Band 4,3,2, dan NIR
7. Data DEM Nasional Kabupaten Pesawaran
8. Data Citra *Google Earth* tahun 2019 dan 2023 resolusi 1 meter

3.2 Diagram Alir Penelitian

Secara umum alur penelitian yang dilakukan disajikan pada gambar berikut.



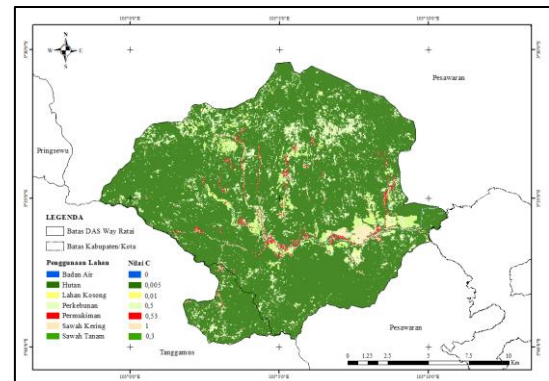
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Analisis Perubahan Penggunaan Lahan

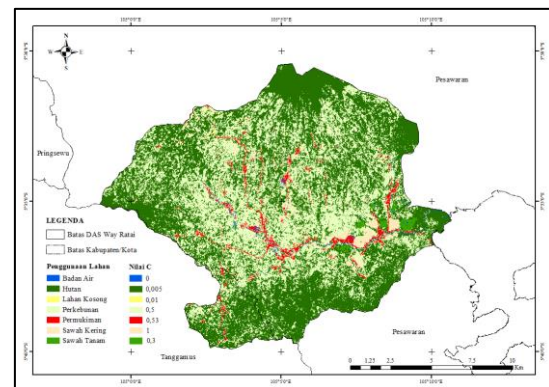
Penggunaan lahan DAS Way Ratai pada tahun 2019 dan 2023 yang dihasilkan dari proses pengolahan citra Sentinel 2A dengan metode klasifikasi *random forest*. Penggunaan lahan yang digunakan terbagi beberapa kelas yaitu Sawah Tanam (0), Sawah Kering (1), Badan Air (2), permukiman (3), Perkebunan (4), Hutan (5), Lahan Kosong (6). Berikut ini peta penggunaan lahan tahun 2019. Uji akurasi peta penggunaan lahan tahun 2019 yaitu nilai

overall accuracy 91,43% dengan indeks kappa 90,00%.



Gambar 3. Peta Penggunaan Lahan tahun 2019 di DAS Way Ratai

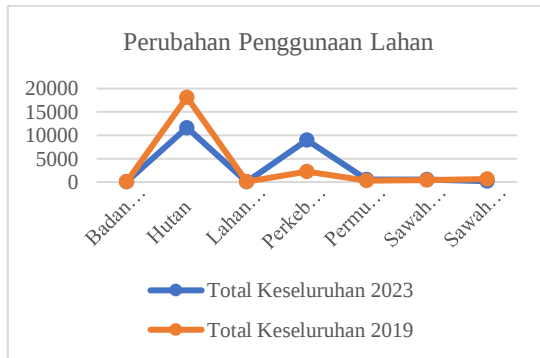
Penggunaan Lahan pada tahun 2023 dihasilkan Uji akurasi peta penggunaan lahan tahun 2023 dilakukan menggunakan *confusion matrix* menghasilkan nilai overall akurasi 94,28% dengan indeks kappa 93,33%.



Gambar 4. Peta Penggunaan Lahan tahun 2023 di DAS Way Ratai

Dari hasil analisis data diatas dapat diketahui bahwa penggunaan lahan di DAS Way Ratai pada tahun 2019 masih dominan lahan hutan dengan luas 18.164,1 Ha memiliki persentasi 82,67%. Sedangkan, pada tahun 2023 DAS Way Ratai memiliki 2 area yang dominan yaitu perkebunan dan hutan. Perkebunan memiliki luas 8.938,5 Ha dengan persentasi 40,68% dan hutan memiliki luas 11.658 Ha dengan persentase 53,06%.

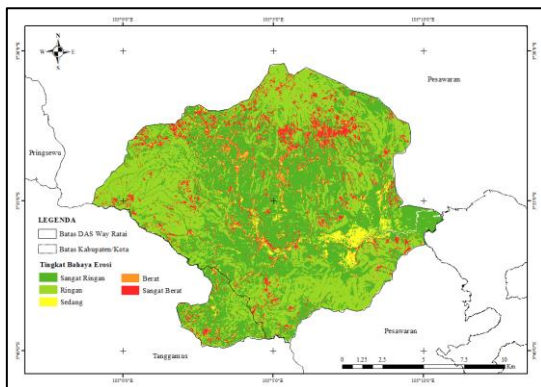
Berikut ini grafik perubahan penggunaan lahan di DAS Way Ratai pada tahun 2019 dan 2023.



Gambar 5. Grafik Perubahan Penggunaan Lahan tahun 2019 dan 2023

4.2 Hasil Analisis Tingkat Bahaya Erosi

Faktor-faktor yang mendukung dalam menilai laju erosi dengan metode RUSLE yaitu faktor erosivitas hujan (R), Faktor erodibilitas tanah (K), faktor panjang dan kemiringan lereng (LS), faktor pengelolaan tanaman (C), faktor konservasi lahan (P). Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode RUSLE, didapatkan nilai laju erosi satuan ton/ha/tahun di DAS Way Ratai dengan 5 kelas tingkat bahaya erosi yaitu sangat ringan, ringan, sedang, berat, dan sangat berat. Berikut ini Peta Tingkat Bahaya Erosi di DAS Way Ratai tahun 2019.



Gambar 6. Peta tingkat bahaya erosi tahun 2019 di DAS Way Ratai

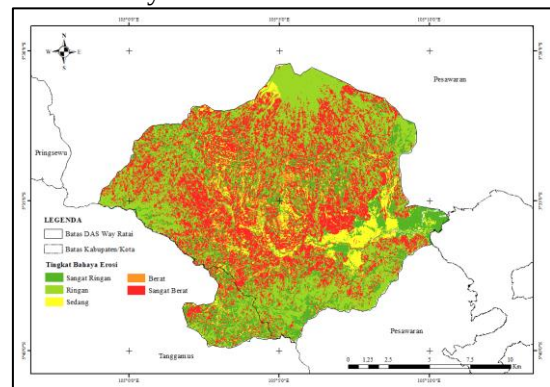
Pada tahun 2019 tampak tingkat bahaya erosi kelas ringan dan sangat ringan mendominasi. Luas area yang memiliki tingkat bahaya erosi kelas ringan adalah 8.860 Ha dengan persentase 46,44%. Sedangkan, luas area yang memiliki tingkat bahaya erosi kelas sangat ringan adalah 10.204 Ha dengan persentase 40,33%. Tingkat bahaya erosi kelas sedang memiliki luas 720 Ha dengan persentase

3,28%, kelas berat memiliki luas 596 Ha dengan persentase 2,71%, dan kelas sangat berat memiliki luas 1.591 Ha dengan persentase 7,24%.

Tabel 6. TBE tahun 2019

Kelas TBE	Luas (Ha)	Persentase (%)
I	10.204	46,44 %
II	8.860	40,33 %
III	720	3,28 %
IV	596	2,71 %
V	1.591	7,24 %

Berikut ini Peta Tingkat Bahaya Erosi di DAS Way Ratai tahun 2019.



Gambar 7. Peta tingkat bahaya erosi tahun 2023 di DAS Way Ratai

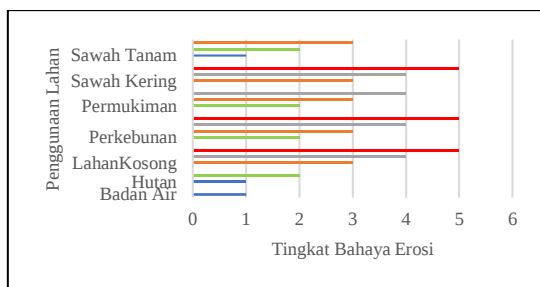
Pada tahun 2023 tampak tingkat bahaya erosi kelas sangat ringan, ringan dan Sangat Berat mendominasi. Luas area yang memiliki tingkat bahaya erosi kelas sangat ringan adalah 4.509 Ha dengan persentase 20,5%, luas area yang memiliki tingkat bahaya erosi kelas ringan adalah 7.296 Ha dengan persentase 33,2%. Sedangkan, tingkat bahaya erosi kelas sangat berat adalah 7.221 Ha dengan persentase 32,9%. Tingkat bahaya erosi kelas sedang memiliki luas 1.920 Ha dengan persentase 8,7%, kelas berat memiliki luas 1.025 Ha dengan persentase 4,7%.

Tabel 7. TBE tahun 2023

Kelas TBE	Luas (Ha)	Persentase (%)
I	4.509	20.5%
II	7.296	33.2%
III	1.920	8.7%
IV	1.025	4.7%
V	7.221	32.9%

Uji validasi prediksi erosi dilakukan dengan tujuan untuk menilai tingkat akurasi peta tingkat bahaya erosi yang dihasilkan dari metode RUSLE. Hasil survei di lapangan (*ground check*) dibandingkan dengan prediksi erosi. Uji validasi tersebut untuk mendapatkan nilai *overall accuracy*. Berdasarkan hasil validasi di lapangan terdapat 14 titik yang sesuai, dan 4 titik tidak sesuai. Pada perhitungan nilai *overall accuracy* dihasilkan akurasi sebesar 77,78%.

4.3 Analisis Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Tingkat Bahaya Erosi



Gambar 8. Grafik penggunaan lahan terhadap tingkat bahaya erosi di DAS Way Ratai

Faktor pengelolaan tanaman berdasarkan peta penggunaan lahan yang mempresentasikan penggunaan lahan pada DAS Way Ratai tahun 2019 dan 2023. Perubahan penggunaan lahan terjadi sangat signifikan pada lahan hutan menjadi lahan perkebunan. Lahan perkebunan dan lahan kosong menjadi faktor yang sangat berpengaruh terhadap terjadinya erosi. Kemiringan lereng pada suatu area yang memiliki fungsi lahan yang berbeda-beda dapat menjadi faktor terjadinya erosi. Dimana lahan perkebunan yang berada pada kemiringan lereng >15% menjadi salah satu penggunaan lahan yang memiliki nilai P tinggi maka, akan semakin tinggi kerentanan tanah akan tererosi. Hasil peta tingkat bahaya erosi menggambarkan bahwa penggunaan lahan yang rentan terhadap erosi yaitu hutan konservasi, perkebunan, sawah kering dan lahan kosong.

4. 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.

Daftar Pustaka

1. Arsyad, S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air* (Edisi kedua). IPB Press.
2. 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).
3. Edwin. 2021. *Optimasi Penggunaan Lahan Pertanian pada Batas Toleransi Erosi dan Hubungannya dengan Pendapatan Petani di Sub Daerah Aliran Sungai Sumpur Singkarak*.
4. 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>
5. 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>
 6. Karyati. 2016. Penaksiran Indeks Erosivitas Hujan Di Kuching, Sarawa. *Jurnal Badan Penelitian Dan Pengembangan Daerah*, 2, 38–45.
 7. Mangsur. 2021. *Identifikasi Banjir Sungai Way Ratai (Studi Kasus : Kecamatan Way Ratai Kabupaten Pesawaran)*. 1(1).
 8. 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. *E-Proceeding of Engineering*, 9(2355–9365), 3753.
 9. 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).
 10. 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>
 11. 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.
 12. 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>
 13. 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>
 14. 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>