

**PENDUGAAN EROSI DENGAN METODE USLE  
(UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION) BERBASIS DATA SPASIAL  
PADA AREAL SEBELUM DAN SESUDAH TAMBANG  
DI KECAMATAN PALARAN, KOTA SAMARINDA**

*(Erosion Estimation with USLE (Universal Soil Loss Equation) Method  
Based on Spatial Data in Area Before and After Mining in Palaran district,  
Samarinda City)*

**Abdhi Rifadil<sup>1\*</sup>, Ismail Bakrie<sup>2</sup>, Heni Emawati<sup>3</sup>, Djumansi Derita<sup>4</sup>, Zikri Azham<sup>5</sup>**  
<sup>1,2,3,4,5</sup>Fakultas Pertanian, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda, Indonesia.  
Jl. Ir. H. Juanda No.80 Samarinda KP 75124.  
E-Mail\*(*Corresponding Author*): rifadil165401013@untag-smd.ac.id

Submit: 20-04-2024

Revisi: 07-07-2024

Diterima: 19-07-2024



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

## ABSTRAK

Lahan merupakan salah satu faktor penting dalam mewujudkan keberlangsungan hidup manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Penggunaan lahan tersebut dapat menyebabkan penurunan mutu tanah disebabkan oleh proses pencucian hara dan proses erosi tanah. Pembukaan kawasan pertambangan menyebabkan kerusakan tanah, erosi dan sedimentasi, banjir serta kekeringan. Kecamatan Palaran merupakan kecamatan kedua terluas di Kota Samarinda dengan luas 18.253 Ha atau sama dengan 25,4% luas kota Samarinda. Setidaknya terdapat 24 Izin Usaha Pertambangan (IUP) dan 1 ijin PKP2B, yang luasnya mencapai 12.915,67 Ha atau 70,76% dari luas wilayah Kecamatan Palaran. Dengan persentase luas pertambangan yang sangat besar di kecamatan tersebut mengindikasikan terjadinya kerusakan lingkungan terutama kerusakan tanah yang disebabkan oleh erosi. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui tingkat erosi tanah pada areal sebelum dilakukan kegiatan pertambangan dan sesudah adanya kegiatan pertambangan serta memetakan sebaran tingkat erosi tanah di Kecamatan Palaran. Penelitian ini dilakukan kurang lebih 2 bulan efektif. Wilayah Kecamatan Palaran menjadi objek penelitian pendugaan erosi sebelum dan sesudah tambang dengan menggunakan metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*) yang dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith. USLE adalah suatu model erosi yang dirancang untuk memprediksi erosi rata-rata jangka panjang dari erosi lembar atau alur di bawah keadaan tertentu. Hasil analisis pendugaan erosi dengan metode USLE di Kecamatan Palaran menunjukkan bahwa besarnya erosi yang terjadi sebelum adanya kegiatan tambang yaitu sebesar 430.342,11 ton/thn dengan rata-rata besar erosi sebesar 99,80 ton/ha sedangkan setelah areal tersebut menjadi tambang, dugaan erosi yang terjadi yaitu sebesar 1.901.332,98 ton/thn dengan rata-rata besar erosi sebesar 440,91 ton/ha.

**Kata kunci :** Erosi, Kecamatan Palaran, Metode USLE.

## ABSTRACT

*Land is an important factor in realizing human survival to fulfill their living needs. This land use can cause a decrease in soil quality due to nutrient leaching and soil erosion processes. The opening of mining areas causes soil damage, erosion and sedimentation, floods and drought. Palaran District is the second largest sub-district in Samarinda City with an area of 18,253 Ha or the same as 25.4% of the area of Samarinda City. There are at least 24 Mining Business Permits (IUP) and 1 PKP2B permit, covering an area of 12,915.67 Ha or 70.76% of the area of Palaran District. With a very large percentage of mining area in this sub-district, it indicates that environmental damage is occurring, especially soil damage caused by erosion. The aim of this research is to determine the level of soil erosion in the area before mining activities and after mining activities and to map the distribution of soil erosion levels in Palaran District. This research was carried out for approximately 2 effective months. The Palaran District area is the object of research on pre- and post-mining erosion estimates using the USLE (Universal Soil Loss Equation) method developed by Wischmeier and Smith. USLE is an erosion model designed to predict the long-term average erosion of sheet or groove erosion under certain conditions. The results of the analysis of erosion estimation using the USLE method in Palaran District show that the amount of erosion that occurred before mining activities was 430,342.11 tons/year with an average amount of erosion of 99.80 tons/ha, whereas after the area became mined, erosion was suspected. that occurred was 1,901,332.98 tonnes/year with an average erosion rate of 440.91 tonnes/ha.*

**Keywords :** *Erosion, Palaran District, USLE method.*

### A. PENDAHULUAN

Dalam mewujudkan kelangsungan hidup manusia, lahan merupakan salah satu faktor penting karena segala kebutuhan hidup manusia bersumber dari lahan. Seiring dengan kemajuan teknologi dan bertambahnya jumlah populasi manusia maka kebutuhan lahan akan semakin berkembang dan ketersediaannya terbatas. Lahan yang sebelumnya memiliki vegetasi kemudian menjadi permukiman, perkebunan, sawah, ladang, industri, pertambangan dan sebagainya. Penggunaan lahan tersebut menyebabkan terjadinya pengurangan luas lahan bervegetasi yang salah satunya akan berdampak menurunnya mutu tanah. Penurunan mutu tanah tersebut disebabkan oleh proses pencucian hara dan proses erosi tanah.

Erosi adalah suatu peristiwa hilangnya atau terkikisnya tanah atau bagian-bagian tanah dari suatu tempat yang diangkut oleh air atau angin ke tempat lain (Sugiyanto 2010). Erosi menyebabkan hilangnya lapisan tanah yang subur dan baik untuk pertumbuhan tanaman serta berkurangnya kemampuan tanah untuk menyerap dan menahan air. Tanah yang terangkut tersebut akan terbawa masuk ke sumber air (sedimen) dan akan diendapkan di tempat yang aliran airnya melambat di dalam sungai, waduk, danau, reservoir, saluran irigasi, di atas pertanian dan sebagainya. Dengan demikian, kerusakan yang ditimbulkan oleh peristiwa erosi terjadi di dua tempat, yaitu pada tanah tempat erosi terjadi, dan pada tempat tujuan akhir tanah yang terangkut tersebut diendapkan (Arsyad, 2012).

Pertambangan, menurut Undang-Undang Nomor 4 tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara (UU No. 4/2009) adalah sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan dan pengusahaan mineral atau batubara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pasca tambang. Pembukaan kawasan pertambangan menyebabkan kerusakan tanah, erosi dan sedimentasi, banjir serta kekeringan. Kerusakan akibat kegiatan penambangan adalah berubah atau hilangnya bentuk permukaan bumi (landscape), terutama pertambangan yang dilakukan secara terbuka (opened mining) meninggalkan lubang-lubang besar di permukaan bumi (Novitasari, 2006).

Kecamatan Palaran adalah kecamatan kedua terluas di Kota Samarinda, setelah Kecamatan Samarinda Utara. Luasnya 18.253 Ha atau sama dengan 25,4% luas kota Samarinda. Terdapat 24 (dua puluh empat) Izin Usaha Pertambangan (IUP) dan satu ijin PKP2B, yang luasnya mencapai 12.915,67 Ha atau 70,76% dari luas wilayah Kecamatan Palaran. Dengan persentase luas pertambangan yang sangat besar di kecamatan tersebut dapat mengindikasikan terjadinya kerusakan lingkungan yang masif terutama kerusakan tanah yang disebabkan oleh erosi. Untuk itu perlu dilakukan pemantauan dan penghitungan terhadap tingkat erosi tanah yang terjadi saat ini yang kemudian dibandingkan dengan sebelum adanya kegiatan penambangan sehingga dapat memberikan kontribusi sebagai bahan penentu kebijakan.

Salah satu metode perkiraan erosi adalah yang dikenal dengan metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*) yang dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith (1978). Metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*) merupakan model empiris yang dikembangkan di Pusat Data Aliran Permukaan dan Erosi Nasional, Dinas Penelitian Pertanian, Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) bekerja sama dengan Universitas Purdue pada tahun 1954 (Kurnia, 1997 dikutip oleh Hariyadi, 2016). Dengan kesederhanaan, kemudahan dalam pemasukan input data, dan hasil yang cukup baik metode ini banyak dipakai diberbagai sektor di luar pertanian termasuk di sektor kehutanan (Ispriyanto, 2001). Metode USLE dapat digunakan untuk menduga tingkat erosi yang terjadi pada suatu wilayah bilamana nilai dugaan tersebut dapat dijadikan bahan untuk merumuskan teknik dalam konservasi lahan sehingga kerusakan lahan akibat erosi dapat dicegah dan dihindari.

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka diperlukan penelitian yang dapat merepresentasikan dan menduga tingkat erosi yang terjadi di Kecamatan Palaran. Selain itu, perlu juga membandingkan antara tingkat erosi yang terjadi saat sebelum kegiatan penambangan pada kecamatan tersebut dengan kondisi saat ini. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui tingkat erosi tanah pada areal yang *sebelum* dilakukan kegiatan pertambangan di Kecamatan Palaran, untuk mengetahui tingkat erosi tanah pada areal *sesudah* adanya kegiatan pertambangan di Kecamatan Palaran, untuk memetakan sebaran tingkat erosi tanah wilayah penelitian di Kecamatan Palaran.

## **B. METODA PENELITIAN**

### **Tempat dan Waktu**

Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Palaran dengan waktu yang diperlukan kurang lebih 2 bulan efektif bulan Februari s.d April 2021.

### **Bahan dan Alat**

Adapun bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini sebagaimana pada Tabel 1. berikut ini.

**Tabel 1.** Bahan/Data Penelitian Beserta Sumbernya.

No.	Bahan/Data	Sumber
1.	Curah Hujan	BMKG Stasiun Temindung Samarinda Tahun 2003 dan Tahun 2020
2.	Peta Jenis Tanah Kecamatan Palaran	Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP) Tahun 2016
3.	Peta Kelerenghan Kecamatan Palaran	Pengolahan Data SRTM ( <i>Shuttle Radar Topography Mission</i> ) dan DEMNAS
4.	Peta Tutupan Lahan Kecamatan Palaran	Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan dan Hasil Penafsiran
5.	Citra Landsat 5 dan Landsat 8	Portal <a href="http://earthexplorer.usgs.gov">http://earthexplorer.usgs.gov</a>
6.	Peta Jaringan jalan dan Sungai Kecamatan Palaran	Peta Rupa Bumi Indonesia Tahun 2016

Objek penelitian adalah lokasi tambang Kecamatan Palaran berdasarkan dileniasi penafsiran citra Landsat Tahun 2020 sekaligus batas objek penelitian yang digunakan untuk melakukan penghitungan pendugaan erosi sebelum tambang. Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa seperangkat Komputer/Laptop yang dilengkapi dengan program Microsoft Excel, Microsoft Word dan program ArcGIS 10.3.1, Software Global Mapper 19, Printer dan ATK.

### Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Metode penelitian deskriptif kuantitatif adalah suatu metode yang bertujuan untuk membuat gambar atau deskriptif tentang suatu keadaan secara objektif yang menggunakan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut serta penampilan dan hasilnya (Arikunto, 2006). Menurut Sarwono (2006), metode penelitian kuantitatif adalah penelitian ilmiah yang sistematis terhadap bagian-bagian dan fenomena serta hubungan-hubungannya. Dengan metode penelitian tersebut diharapkan dapat memberikan gambaran erosi yang terjadi sebelum dan sesudah kegiatan pertambangan dengan menggunakan data curah hujan, jenis tanah, kelerenghan tanah dan tutupan lahan yang dikalkulasikan dalam metode USLE.

Adapun tujuan penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif ini adalah untuk menjelaskan suatu situasi yang hendak diteliti dengan dukungan studi kepustakaan sehingga lebih memperkuat analisa peneliti dalam membuat suatu kesimpulan, dimana hasil penelitian diperoleh dari hasil perhitungan indikator-indikator variable penelitian kemudian dipaparkan secara tertulis oleh penulis.

Pengambilan data dilakukan dengan pengecekan lapangan menggunakan metode *strative purposive random sampling* yaitu teknik pengambilan sampel dengan pertimbangan tertentu.

Penelitian ini secara garis besar dibagi menjadi 3 tahapan pelaksanaan antara lain pengumpulan data, pengolahan data dan analisa data.

### Prosedur Pelaksanaan Penelitian

#### 1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer yang dikumpulkan antara lain titik sampel pengecekan lapangan terhadap hasil penafsiran tutupan lahan citra satelit Landsat tahun 2020. Untuk data sekunder yang

dikumpulkan antara lain curah hujan, jenis tanah, kelerengan serta tutupan lahan sebelum kegiatan pertambangan yang didapat dari instansi masing-masing pengelola data melalui salinan data. Selain itu, data juga diperoleh dari website resmi instansi pengelola data yang memberikan akses untuk dapat dilakukan pengunduhan data. Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

a. Curah Hujan

Data curah hujan diperlukan untuk menghitung nilai erosivitas tanah (R). Data curah hujan Kecamatan Palaran yang digunakan merupakan data yang didapatkan dari Stasiun Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Samarinda.

b. Jenis Tanah

Penentuan jenis tanah di Kecamatan Palaran dilakukan dengan menggunakan Peta Jenis Tanah bersumber dari Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP). Data jenis tanah digunakan untuk mengetahui nilai erodibilitas tanah (K) yang kemudian diberikan nilai berdasarkan penelitian sebelumnya.

c. Kelerengan/Topografi

SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) dan DEMNAS dimanfaatkan untuk melakukan pengolahan data kelas lereng. Peta kelas keleng hasil pengolahan SRTM dan DEMNAS tersebut akan digunakan dalam menentukan nilai panjang dan kemiringan lereng (LS).

d. Peta Penutupan Lahan/Penggunaan Lahan

Nilai faktor tanaman (C) dan tindakan pengelolaan tanah (P) didapatkan dari data penutupan lahan yang dinilai berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Identifikasi periode sebelum adanya kegiatan pertambangan di Kecamatan Palaran diketahui dari data penutupan lahan yang dikeluarkan oleh Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan dengan data tutupan lahan yang tersedia mulai tahun 1990.

Data penutupan lahan terkini sesudah ada kegiatan pertambangan, diperoleh melalui interpretasi citra satelit Landsat 8 dengan melakukan dileniasi (*digitizing on screen*) terhadap obyek dengan mempertimbangkan unsur-unsur interpretasi seperti bentuk, ukuran, pola, bayangan, rona/warna, tekstur, situs dan asosiasi. Dari hasil dileniasi tersebut kemudian dikelaskan berdasarkan kunci interpretasi citra yang mengacu kepada SNI 7645 Tahun 2010 tentang klasifikasi penutupan lahan.

Untuk mendapatkan data penutupan lahan yang akurat serta sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan maka perlu dilakukan kegiatan pengecekan lapangan. Pengecekan lapangan dilakukan dengan menempatkan titik sampel secara *purposive sampling* dengan mempertimbangkan kemudahan akses untuk mencapai lokasi pengambilan titik cek lapangan. Adapun tahapan dalam melakukan pengecekan lapangan dan uji akurasi terhadap hasil interpretasi citra adalah sebagai berikut.

1) Penentuan Jumlah Titik Sampel

Jumlah titik sampel pengecekan lapangan ditentukan berdasarkan luas hasil interpretasi tutupan lahan dengan menggunakan rumus slovin bilamana titik diletakkan secara proposional tergantung luasan setiap kelas tutupan lahannya. Jumlah titik sampel ditentukan dengan menggunakan dengan rumus sebagai berikut:

$$n = \frac{N}{1+N(e^2)} \quad (1)$$

Dimana :

$n$  = Jumlah Sampel (Buah)

$N$  = Jumlah Populasi (Ha)

$e$  = Batas Toleransi Kesalahan (*Error Tolerance* 10%)

Penentuan jumlah titik sampel secara proporsional pada setiap kelas penutupan lahan dihitung dengan menggunakan rumus :

$$n' = \left(\frac{LC}{N}\right) \times n \quad (2)$$

Dimana :

$n'$  = Jumlah Sampel Per Tutupan Lahan (buah)

$LC$  = Luas Tutupan Lahan  $n$  (ha)

$N$  = Luas Tutupan Lahan Total (ha)

$n$  = Jumlah Sampel (buah)

## 2) Penempatan Titik Sampel

Penempatan titik sampel pengecekan lapangan dilakukan dengan menggunakan metode *strative purposive random sampling* yaitu dengan menempatkan titik sampel sesuai dengan luas kelas penutupan lahan secara proporsional dengan mempertimbangkan faktor aksesibilitas sehingga pengecekan lapangan dapat dilakukan dengan lebih efektif dan efisien.

## 3) Pengecekan Lapangan

Pengecekan lapangan digunakan sebagai metode untuk menilai keakurasian interpretasi yang telah dilakukan. Jumlah titik sampel pengecekan lapangan merupakan hasil penghitungan jumlah titik sampel secara proporsional sesuai dengan luas masing-masing tutupan lahan. Pengambilan titik sampel dalam rangka pengecekan lapangan dilakukan dengan menggunakan GPS atau foto udara drone yang dilengkapi *geotagging*. Pengambilan titik dengan foto udara drone dilakukan apabila titik sampel yang akan dituju sulit untuk diakses.

Adapun data yang diambil berupa koordinat, kondisi tutupan lahan dan foto keadaan tutupan lahan sekitar pada titik pengecekan lapangan. Data hasil pengambilan titik lapangan kemudian direkapitulasi dalam *tally sheet*.

## 4) Uji Akurasi

Pengujian ketelitian klasifikasi bertujuan untuk melihat kesalahan-kesalahan klasifikasi sehingga dapat diketahui persentase ketepatannya (akurasi). Penghitungan akurasi hasil interpretasi citra dilakukan dengan menggunakan *confusion matrix*. *Confusion matrix* adalah perhitungan akurasi dengan melakukan perbandingan penutupan lahan hasil interpretasi citra dengan hasil verifikasi di lapangan yang dihitung dalam sebuah tabel seperti Tabel 2. Berikut ini.

**Tabel 2.** Contoh Perhitungan Akurasi Dengan Metode *Confusion Matrix* (Wicaksono, 2010).

Hasil Interpretasi	Hasil Pengecekan Lapangan		Jumlah
	A	B	
A	a	b	a+b
B	c	d	c+d
Jumlah	a+c	b+d	n

Perhitungan akurasinya adalah sebagai berikut:

- a) Akurasi keseluruhan (*Overall Accuracy*)  
 $= (a+d) / n \dots\dots\dots(3)$
- b) Akurasi produser (*Produser's Accuracy*)  
 $= (a / a+c) \times 100 \dots\dots\dots(4)$   
 Omisi = 100% - Akurasi Produser  $\dots\dots\dots(5)$
- c) Akurasi Pengguna (*User's Accuracy*)  
 $= (a / a+b) \times 100 \dots\dots\dots(6)$   
 Komisi = 100% - Akurasi Pengguna  $\dots\dots\dots(7)$
- d) Akurasi Kappa  
 $Akurasi Kappa = (P0 - Pe) / (1-Pe) \dots\dots\dots(8)$   
 dimana :  
 $P0 = Akurasi Keseluruhan (Overall Accuracy)$   
 $P0 = (a+d) / n \dots\dots\dots(9)$   
 $Pe = [ (a+b/n) \times (a+c/n) ] + [ (c+d/n) \times (b+d/n) ] \dots\dots\dots(10)$

Cohen (1968) yang dikutip oleh Sadono dkk (2022), membagi klasifikasi nilai akurasi berdasarkan nilai koefisien Kappa menjadi 6 kelas, seperti pada Tabel 3. berikut ini:

**Tabel 3.** Interpretasi Nilai Akurasi Kappa (Koefisien Kappa).

Nilai Koefisien Kappa	Interpretasi Nilai Kappa
0<	Peluang akurasi buruk
0,01 – 0,20	Peluang akurasi kecil
0,21 – 0,40	Peluang akurasi cukup
0,41 – 0,60	Peluang akurasi sedang
0,61 – 0,80	Peluang akurasi baik
0,81 – 0,99	Peluang akurasi sangat baik (almost perfect)

**Pengolahan Data**

Data yang telah dikumpulkan sebelumnya selanjutnya dilakukan pengolahan data. Pengolahan data seluruhnya dilakukan dengan menggunakan data spasial termasuk dalam penghitungan rumus dengan metode USLE. Adapun tahapan pengolahan data yang dimaksud adalah sebagai berikut :

a. Menghitung Nilai Erosivitas Hujan

Nilai erosivitas hujan (R) dihitung dengan menggunakan rumus dari Lenvain (1988) sebagai berikut :

$$R = 2,21 P^{1,36} \dots\dots\dots(11)$$

dimana

R : Indeks erosivitas

P : Curah hujan bulanan (cm)

b. Menghitung Nilai Erodibilitas

Nilai erodibilitas tanah (K) ditentukan dengan mengetahui jenis tanah berdasarkan Peta Jenis Tanah Kecamatan Palaran yang selanjutnya dinilai mengacu kepada nilai K dari Dangler dan El-Swaify (1976) serta dipadankan dengan klasifikasi tanah nasional (Subardja et al., 2014; Anda dkk., 2021). Nilai K berdasarkan jenis tanahnya adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Nilai Erodibilitas Berdasarkan Klasifikasi Tanah Nasional.

Jenis Tanah (USDA 1990)	Jenis Tanah (Klasifikasi Tanah Nasional)	Nilai K
Andisol	Andosol	0,07
Histosol	Organosol	0,28
Inceptisol	Kambisol	0,23
Ultisol	Podsolik	0,16
Oxisol	Oksisol	0,03
Entisol	Aluvial	0,19
Alfisol	Mediteran	0,20
Vertisol	Grumusol	0,27
Inceptisol (Aquepts)	Gleisol	0,31

Sumber : Dangler dan El-Swaify (1976) serta Subardja et al (2014)

c. Menentukan Nilai Panjang dan Kemiringan Lereng (LS)

Untuk menentukan nilai LS, sebelumnya harus diketahui kemiringan lereng di Kecamatan Palaran dengan menggunakan data hasil pengolahan data SRTM dan DEMNAS. Setelah kemiringan lereng diketahui, besaran nilai LS ditentukan berdasarkan Tabel 1.

d. Menentukan Nilai Tanaman dan Tindakan Pengelolaan Tanah (CP)

Nilai CP didapatkan dari pemberian skoring terhadap data penutupan lahan Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan pada obyek penelitian sebelum ada kegiatan pertambangan sedangkan data penutupan lahan kondisi terkini diperoleh dari hasil interpretasi citra satelit Landsat 8 Liputan Tahun 2020. Nilai CP dapat ditentukan dengan melihat Tabel 4.



### 3. Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menghitung nilai dugaan erosi menggunakan data spasial yang telah diolah sebelumnya kemudian diklasifikasi ke dalam tingkat bahaya erosi. Adapun tahapan analisis data yang dimaksud adalah sebagai berikut.

#### a. Pendugaan Nilai Erosi (A)

Pendugaan nilai erosi dilakukan dengan melakukan *overlay* data spasial curah hujan, jenis tanah, kelerengan dan penutupan lahan. Data spasial hasil *overlay* tersebut akan membentuk peta satuan lahan. Satuan lahan merupakan bagian dari lahan yang dapat dibatasi pada peta dan memiliki karakteristik atau kualitas tertentu. Satuan lahan digunakan sebagai satuan analisis untuk mendapatkan karakteristik fisik daerah penelitian yang selanjutnya digunakan untuk analisis setiap variabel yang mempengaruhi proses erosi dan digunakan untuk perencanaan konservasi lahan sesuai dengan karakteristik satuan lahan. (Martati, 2009). Satuan lahan yang terbentuk dari proses *overlay* tersebut, masing-masing akan mewakili karakteristik dari variabel yang disusun antara lain curah hujan, jenis tanah, kemiringan lereng dan penutupan lahan.

Data *overlay* berupa peta satuan lahan yang berisi informasi mengenai data curah hujan, jenis tanah, kelerengan dan penutupan lahan dilakukan penginputan nilai ke dalam *attribute table* berdasarkan hasil penghitungan dan penentuan erosivitas hujan (R), erodibilitas tanah (K), panjang dan kemiringan lereng (LS), tanaman dan tindakan pengelolaan tanah (CP).

Untuk mengetahui jumlah tanah yang hilang rata-rata setiap tahun (ton/ha/tahun) atau nilai A dapat dihitung sesuai dengan Rumus USLE sebagai berikut:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot CP \dots\dots\dots(12)$$

dimana :

- A : Jumlah tanah yang hilang rata-rata setiap tahun (ton/ha/tahun)
- R : Indeks daya erosi curah hujan (erosivitas hujan)
- K : Indeks kepekaan tanah terhadap erosi (erodibilitas tanah)
- LS : Faktor panjang lereng (L) dan kemiringan lereng (S)
- C : Faktor tanaman (vegetasi)
- P : Faktor tindakan pengelolaan tanah (konservasi)

Hasil penghitungan nilai atribut data spasial sesuai dengan rumus USLE tersebut kemudian dilakukan rekapitulasi. Di bawah ini adalah contoh perhitungan dugaan laju erosi (A), besarnya erosi, rata-rata laju erosi serta rata-rata besar erosi yang direkap berdasarkan kelas penutupan lahannya baik sebelum dan sesudah tambang.

#### b. Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi

Berdasarkan hasil penghitungan pendugaan nilai erosi yang menghasilkan data jumlah tanah yang hilang rata-rata setiap tahun (ton/ha/tahun) secara spasial, kemudian dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelas tingkat bahaya erosi. Berikut merupakan contoh rekapitulasi tingkat bahaya erosi berdasarkan nilai minimal dan maksimal laju erosi (ton/ha/thn) beserta informasi mengenai luas areal masing-masing kelas tingkat bahaya erosinya. Adapun kelas tingkat bahaya erosi dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi.

Laju Erosi (ton/ha/thn)	Kelas Bahaya Erosi	Tingkat Bahaya Erosi
<15	I	Sangat Ringan
15 – 60	II	Ringan
60 – 180	III	Sedang
180 – 480	IV	Berat
>480	V	Sangat Berat

Sumber: Arsyad (2009)

Data spasial hasil overlay akan menghasilkan satuan lahan yang masing-masing *polygon*-nya berisi informasi tentang nilai laju erosi (A) yang digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat bahaya erosi. Satuan lahan yang telah dikelompokkan tersebut kemudian dilakukan rekapitulasi baik yang nilai laju erosi sebelum dan sesudah tambang. Rekapitulasi berdasarkan luasan tingkat bahaya erosi dilakukan analisis perbandingan perubahan kelas yang terjadi pada saat areal tersebut belum menjadi tambang dan setelah areal tersebut sudah digunakan untuk kegiatan pertambangan. Matriks perbandingan tingkat erosi tersebut akan menunjukkan perubahan atau distribusi kelas tingkat bahaya erosi dan areal mana saja yang terjadi peningkatan kelas bahaya erosi. Berikut merupakan contoh matriks perbandingan tingkat bahaya erosi sebelum dan sesudah tambang.

### C. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kecamatan Palaran merupakan salah satu dari 10 (sepuluh) kecamatan di Kota Samarinda. Secara astronomis, Kecamatan Palaran terletak di antara 0°31'53" - 0°43'01" Lintang Selatan dan 117°06'37"-117°16'55" Bujur Timur. Secara administrasi pemerintahan, Kecamatan Palaran berbatasan dengan Sungai Mahakam di sebelah Utara, Kecamatan Sanga-Sanga, Kabupaten Kutai Kartanegara di sebelah Timur, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara di sebelah Selatan, Kecamatan Loa Janan Ilir dan Kecamatan Samarinda Seberang di sebelah Barat.

Lokasi Penelitian Berdasarkan Kota Samarinda dalam Angka Tahun 2020 (BPS Kota Samarinda Tahun 2021), Kecamatan Palaran memiliki luas ± 221,29 Km<sup>2</sup> yang terbagi menjadi 5 (lima) kelurahan yaitu Kelurahan Bukuan, Kelurahan Bantuas, Kelurahan Simpang Pasir, Kelurahan Rawa Makmur dan Kelurahan Handil Bakti. Kelurahan yang terluas adalah Kelurahan Handil Bakti dengan presentase terhadap luas kecamatan sebesar 32,54 persen. Sedangkan, kelurahan dengan luas wilayah terkecil adalah Kelurahan Rawa Makmur dengan persentase luas sebesar 5,37 persen.

Kecamatan Palaran, Kota Samarinda yang beriklim tropis mempunyai musim yang hampir sama dengan wilayah Indonesia pada umumnya, yaitu adanya musim kemarau dan musim penghujan. Selain itu, karena letaknya di daerah khatulistiwa maka iklim juga dipengaruhi oleh angin Muson, yaitu angin Muson Barat November-April dan angin Muson Timur Mei-Oktober.

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan di Stasiun Meteorologi Kota Samarinda pada tahun 2020, suhu udara rata-rata 29,44°C. Suhu udara terendah 22,60°C terjadi pada bulan November 2020 dan tertinggi 36,20°C pada bulan April 2020. Kelembaban udara pada tahun 2020 berkisar antara 39% sampai dengan 99%. Sedangkan rata-rata curah hujan mencapai 81,71 mm, dengan curah hujan tertinggi 282,50 mm pada bulan September dan terendah 91,80 mm pada bulan Februari. Persentase penyinaran matahari rata-rata 49,30%, dan jumlah hari hujan rata-rata tahun 2020 adalah 20 Hari Hujan.

Berdasarkan Peta Rupa Bumi Indonesia Tahun 2016, Kecamatan Palaran berada di sebelah Selatan dari Sungai Mahakam. Terdapat beberapa sungai yang mengalir di dalam wilayah Kecamatan Palaran antara lain Sungai Banyuur, Sungai Gilinggang, Sungai Payau,

Sungai Putang dan Sungai Sangasanga. Berdasarkan Keputusan Menteri LHK Nomor SK.304/MENLHK/PDASHL/DAS.0/7/2018 tentang Penetapan Peta Daerah Aliran Sungai, wilayah Kecamatan Palaran berada di dalam DAS Mahakam.

Kecamatan Palaran terletak pada ketinggian rata-rata 50 mdpl. Topografi bervariasi dari datar terutama pada bagian utara dan timur, landai sampai agak curam dari sebagian utara sampai dengan selatan, curam pada sebagian besar pada bagian barat, sedangkan pada sebagian kecil selatan wilayah Kecamatan Palaran mempunyai topografi yang sangat curam.

Identifikasi Lahan Periode Sebelum Kegiatan Pertambangan di Kecamatan Palaran. Pendugaan erosi di Kecamatan Palaran dilakukan pada periode sebelum adanya kegiatan pertambangan dan kondisi terkini setelah adanya kegiatan pertambangan. Penentuan periode sebelum adanya kegiatan pertambangan menggunakan data penutupan lahan dari Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan. *Update* data penutupan lahan periode tahun 2000 s.d. tahun 2011 hanya tersedia setiap 3 tahun sekali. Berdasarkan data tutupan lahan pada periode tahun 2000 dan tahun 2003, belum ada hasil interpretasi dan dileniasi penutupan lahan yang menunjukkan adanya aktifitas pertambangan pada kecamatan tersebut sedangkan pada periode tahun 2006 terdapat toponimi tutupan lahan dengan ID 20141 yang artinya terdapat tutupan lahan berupa pertambangan pada tahun tersebut. Oleh karena itu, data tutupan lahan yang digunakan untuk pendugaan erosi sebelum tambang adalah data penutupan lahan tahun 2003 mengingat tidak tersedianya data tutupan lahan tahun 2004 dan tahun 2005. Penutupan lahan Kecamatan Palaran pada tahun 2003 disajikan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Penutupan Lahan Kecamatan Palaran Tahun 2003.

No	Kelas Penutupan Lahan	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Hutan Rawa Sekunder (Hrs)	6,06	0,03
2	Semak Belukar (B)	426,37	2,37
3	Permukiman (Pm)	2.199,26	12,24
4	Tubuh Air (A)	44,51	0,25
5	Pertanian Lahan Kering (Pt)	142,85	0,79
6	Pertanian Lahan Kering Campur Semak (Pc)	14.339,75	79,80
7	Sawah (Sw)	653,02	3,63
8	Rawa (Rw)	157,22	0,87
<b>Jumlah</b>		<b>17.969,04</b>	<b>100</b>

*Sumber : Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan*

Berdasarkan Tabel 6 menunjukkan bahwa pada tahun 2003 belum terdapat kelas penutupan lahan pertambangan di Kecamatan Palaran. Kelas penutupan lahan yang paling dominan adalah pertanian lahan kering campur semak seluas 14.339,75 ha dengan persentase luas mencapai 79,80% sedangkan penutupan lahan yang masih berhutan yaitu hutan rawa sekunder merupakan penutupan lahan yang memiliki luasan paling kecil dengan luas sebesar 6,06 ha. Oleh karena itu, dalam menentukan pendugaan erosi sebelum adanya kegiatan pertambangan dilakukan pada tahun 2003.

#### Identifikasi Lahan Periode Sesudah Kegiatan Pertambangan

Untuk menentukan areal setelah adanya kegiatan pertambangan di Kecamatan Palaran yaitu dengan menggunakan data penutupan lahan hasil penafsiran citra satelit

resolusi sedang (Landsat 8) tahun 2020. Penafsiran citra satelit tersebut dilakukan untuk mendapatkan data penutupan lahan terkini khususnya tutupan lahan berupa kegiatan pertambangan. Untuk mendapatkan nilai akurasi atau tingkat kepercayaan data hasil penafsiran perlu dilakukan pengecekan lapangan. Pengecekan lapangan bertujuan untuk melihat kesesuaian antara hasil penafsiran dengan objek tutupan lahan sesungguhnya yang dilakukan dengan cara pengamatan langsung di lapangan. Jumlah titik sampel pengecekan lapangan dihitung dengan menggunakan metode Slovin dimana didapatkan jumlah titik sampel sebanyak 100 buah yang tersebar berdasarkan proporsi luasan masing-masing tutupan lahan seperti pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Jumlah Titik Sampel Setiap Tutupan Lahan.

No	Kelas Penutupan Lahan	Luas (Ha)	Jumlah Titik Sampel (Buah)
1	Belukar Rawa (Br)	156,91	1
2	Semak Belukar (B)	3.301,01	18
3	Permukiman (Pm)	2.181,35	12
4	Tanah Terbuka (T)	168,83	1
5	Tubuh Air (A)	44,51	1
6	Pertambangan (Tb)	4.312,26	24
7	Pertanian Lahan Kering Campur Semak (Pc)	6.114,76	34
8	Perkebunan	621,70	3
9	Sawah (Sw)	965,36	5
10	Rawa (Rw)	102,35	1
<b>Jumlah</b>		<b>17.969,04</b>	<b>100</b>

Setelah melakukan pengecekan lapangan, dilakukan uji akurasi antara hasil penafsiran dengan hasil pengecekan lapangan. Uji akurasi bertujuan untuk melihat keakuratan atau ketelitian hasil dari klasifikasi objek pada citra. Analisis akurasi pada penelitian ini menggunakan *confusion matrix* atau matrik kontingensi.

Hasil perhitungan uji akurasi dengan jumlah seluruh sampel 100 buah, diperoleh nilai uji keseluruhan / overall accuracy sebesar 90%. Nilai ini menunjukkan bahwa dari keseluruhan sampel yang berjumlah 100 buah terdapat kesalahan sebesar 10% atau 10 buah. Hasil interpretasi yang ditemukan kurang tepat adalah belukar, pertanian lahan kering campur semak, permukiman dan pertambangan. Adapun matriks uji akurasi hasil interpretasi tutupan lahan pada tahun 2020 sebagaimana Tabel 8 berikut.

Berdasarkan hasil uji akurasi interpretasi di atas, secara keseluruhan tingkat kebenaran hasil interpretasi sebesar 90% dengan tingkat kesalahan 10% dan tingkat *kappa accuracy* mencapai 82,19%. Nilai *kappa accuracy* menunjukkan besarnya perbandingan antara hasil klasifikasi acak dengan klasifikasi yang diuji. Sehingga dengan nilai kappa sebesar 0,82 maka memiliki arti bahwa hasil klasifikasi ini dapat menghindari 82,19% kesalahan yang akan muncul pada klasifikasi acak. Nilai *kappa accuracy* sebesar 0,82 termasuk ke dalam kelas interpretasi nilai kappa “*peluang akurasi sangat baik (almost perfect)*”

Dari matriks di atas, terdapat beberapa kesalahan hasil interpretasi citra dengan hasil pengecekan lapangan. Hasil interpretasi dengan tutupan lahan pertanian lahan kering campur semak memiliki kesalahan yang cukup banyak. Hal ini disebabkan karena rona yang tampak

pada citra antara kedua penutupan lahan tersebut hampir sama. Selain itu, lahan pertanian dan semak belukar di lapangan umumnya berdampingan.

**Tabel 8.** Matriks Uji Akurasi Hasil Interpretasi.

Hasil Interpretasi	Uji Lapangan										Jumlah Sampel	Jumlah yang Benar	Omisi	Producer Accuracy	
	A	B	Br	Pc	Pk	Pm	Rw	Sw	T	Tb					
A	1											1	1	0	100
B		17										18	17	5,56	94,44
Br			1									1	1	0	100
Pc		5		28								34	28	17,65	82,35
Pk					3							3	3	0	100
Pm						11			1			12	11	8,33	91,67
Rw							1					1	1	0	100
Sw									5			5	5	0	100
T										1		1	1	0	100
Tb		1									1	22	22	8,33	91,67
<b>Jumlah</b>	1	23	1	28	3	12	1	6	1	24	100	90			
<b>Komisi</b>	0	26,09	0	0	0	8,33	0	16,67	0	8,33					
<b>User Accuracy</b>	100	73,91	100	100	100	91,67	100	83,33	100	91,67					

Keterangan : A= Tubuh Air; B= Semak Belukar; Br= Belukar Rawa; Pc= Pertanian Lahan Kering Campur Semak; Pk= Perkebunan; Pm= Permukiman; Rw= Rawa; Sw= Sawah; T= Tanah Terbuka; Tb=Permukiman.

Akurasi keseluruhan (*Overall Accuracy*) =  $((1+17+1+28+3+11+1+5+1+22) / 100) * 100 = 90\%$

Akurasi Kappa =  $(0,9 - 0.4385) / (1-0.4385)*100 = 82,19\%$

Sedangkan kesalahan interpretasi lainnya seperti belukar, permukiman dan pertambangan disebabkan kesalahan dalam pengenalan objek dan kurang detailnya dileniasi yang dilakukan mengingat citra yang digunakan merupakan citra yang memiliki resolusi yang rendah.

Dengan nilai akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) dan nilai akurasi kappa (*kappa accuracy*) yang tinggi, hasil interpretasi citra tutupan lahan tahun 2020 di Kecamatan Palaran selanjutnya dapat digunakan untuk analisa pendugaan erosi khususnya pada areal dengan tutupan lahan pertambangan. Terdapat 10 (sepuluh) kelas penutupan lahan, antara lain belukar rawa, semak belukar, permukiman, tanah terbuka, tubuh air, pertambangan, pertanian lahan kering campur semak, perkebunan, sawah dan rawa. Penutupan lahan tahun 2020 di Kecamatan Palaran disajikan dalam Tabel 9 berikut ini.

**Tabel 9.** Penutupan Lahan Kecamatan Palaran Tahun 2020.

No	Kelas Penutupan Lahan	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Belukar Rawa (Br)	156,91	0,87
2	Semak Belukar (B)	3.301,01	18,37
3	Permukiman (Pm)	2.181,35	12,14
4	Tanah Terbuka (T)	168,83	0,94
5	Tubuh Air (A)	44,51	0,25
6	Pertambangan (Tb)	4.312,26	24
7	Pertanian Lahan Kering Campur Semak (Pc)	6.114,76	34,03
8	Perkebunan	621,7	3,46
9	Sawah (Sw)	965,36	5,37
10	Rawa (Rw)	102,35	0,57
<b>Jumlah</b>		<b>17.969,04</b>	<b>100</b>

*Sumber : Penafsiran Citra Resolusi Sedang (Landsat 8) Tahun 2020*

Berdasarkan Tabel 9 pada tahun 2020 di Kecamatan Palaran, terdapat kelas penutupan lahan pertambangan seluas 4.312,26 ha atau sekitar 24% dari luas keseluruhan kecamatan. Hal ini menunjukkan bahwa hampir seperempat dari luas wilayah Kecamatan Palaran memiliki potensi untuk terjadinya erosi akibat aktifitas pertambangan. Hasil dileniasi interpretasi tutupan lahan pertambangan tersebut digunakan untuk menentukan nilai pendugaan erosi setelah adanya aktifitas tambang sekaligus merupakan batas objek penelitian yang digunakan untuk menentukan nilai duga erosi yang terjadi sebelum tutupan lahan tersebut menjadi pertambangan pada tahun 2003.

#### Nilai Erosivitas Hujan

Untuk mendapatkan nilai erosivitas hujan data yang digunakan adalah data curah hujan yang bersumber dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Temindung, Samarinda. Penghitungan indeks erosivitas hujan tahunan menggunakan rumus persamaan Lenvain (1989) dengan memanfaatkan data curah hujan bulanan pada tahun 2003 (sebelum kegiatan pertambangan) dan tahun 2020 (setelah kegiatan pertambangan). Adapun data curah hujan bulanan dan hasil penghitungan nilai erosivitas hujan disajikan pada Tabel 10 sebagai berikut.

Parameter curah hujan dibagi menjadi lima kelas berdasarkan intensitas curah hujan yaitu sangat kering (curah hujan <1.000 mm/tahun), kering (curah hujan 1.000-1.500 mm/tahun), lembab (curah hujan 1.500-2.000 mm/tahun), basah (curah hujan 2.000-2.500 mm/tahun) dan sangat basah (curah hujan >2.500 mm/tahun). Berdasarkan penghitungan data curah hujan bulanan diperoleh nilai curah hujan tahun 2003 sebesar 2.345,30 mm/tahun dan tahun 2020 sebesar 2.180,50 mm/tahun dengan kelas curah hujan kedua tahun tersebut yaitu kelas basah. Suripin (2004) menyatakan bahwa di daerah-daerah tropis yang lembab seperti Indonesia dengan rata-rata curah hujan melebihi 1500 mm per tahun maka air merupakan penyebab utama terjadinya erosi.

**Tabel 10.** Curah Hujan Bulanan dan Penghitungan Indeks Erosivitas Hujan (R) Tahun 2003 dan Tahun 2020.

Bulan	Curah Hujan (mm)		Erosivitas Hujan $R = 2,21 P^{1,36}$	
	Tahun 2003	Tahun 2020	Tahun 2003	Tahun 2020
Januari	253,3	247	179,20	173,17
Februari	157,9	91,8	94,23	45,07
Maret	417,3	135,5	353,35	76,53
April	135,7	176,5	76,68	109,64
Mei	244,9	224,7	171,17	152,26
Juni	79,8	172,6	37,25	106,36
Juli	44,5	148	16,83	86,29
Agustus	95,6	228,7	47,62	155,95
September	273,8	282,5	199,21	207,86
Oktober	220,9	170	148,76	104,18
November	203,7	185,3	133,24	117,14
Desember	217,9	117,9	146,02	63,34
<b>Jumlah</b>	<b>2.345,30</b>	<b>2.180,50</b>	<b>1.603,56</b>	<b>1.397,78</b>

*Sumber : Data diolah, Stasiun Meteorologi Temindung, Samarinda, 2003 dan 2020*

Berdasarkan Tabel 10 dari hasil penghitungan indeks nilai erosivitas hujan bulanan (R), didapatkan nilai R tahunan pada tahun 2003 sebesar 1.603,56 dan tahun 2020 sebesar 1.397,78. Adapun distribusi nilai R bulanan maksimum pada tahun 2003 terjadi pada bulan Maret yaitu sebesar 353,35 dan nilai R minimum yaitu 16,83 yang terjadi pada bulan Juli sedangkan distribusi nilai R bulanan maksimum pada tahun 2020 terjadi pada bulan September yaitu sebesar 207,86 dan nilai R minimum yaitu 45,07 yang terjadi pada bulan Februari. Curah hujan tahunan yang tinggi berkontribusi terhadap indeks erosivitas hujan tahunan yang tinggi.

#### Nilai Erodibilitas Tanah

Erodibilitas tanah menunjukkan nilai kepekaan suatu jenis tanah terhadap daya penghancuran dan penghanyutan air hujan yang mempengaruhi kepekaan tanah yaitu: sifat fisik tanah dan pengelolaan tanah. Erodibilitas tanah merupakan kepekaan tanah untuk tererosi, semakin tinggi nilai erodibilitas suatu tanah semakin mudah tanah tersebut tererosi. Erodibilitas tanah dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti tekstur tanah, struktur tanah, bahan organik, dan permeabilitas tanah (Arsyad, 2000; Purwantara dan Nursa'ban, 2012).

Antara satu jenis tanah dengan jenis tanah lainnya memiliki kepekaan yang berbeda, hal ini dipengaruhi oleh kondisi masing-masing jenis tanah selama perkembangannya.

Untuk menentukan nilai erodibilitas tanah, data yang digunakan adalah data jenis tanah yang bersumber dari Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP) Tahun 2016. Adapun data jenis tanah dan nilai erodibilitas tanah (K) disajikan pada Tabel 11 sebagai berikut.

**Tabel 11.** Jenis Tanah dan Nilai Erodibilitas Tanah (K).

No	Jenis Tanah	Nilai K	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Aluvial	0,19	526,06	12,20
2	Gleisol	0,31	636,24	14,75
3	Kambisol	0,23	829,81	19,24
4	Oksisol	0,03	1.819,82	42,20
5	Podsolik	0,16	500,33	11,60
<b>Jumlah</b>			<b>4.312,26</b>	<b>100</b>

Berdasarkan Tabel 11 di atas, jenis tanah pada areal pertambangan yang paling luas adalah oksisol seluas 1.819,82 ha (42,20%) dengan Nilai K yaitu 0,03 dan kambisol seluas 829,81 ha (19,24%) dengan Nilai K yaitu 0,23. Selain itu, terdapat 3 jenis tanah lainnya antara lain gleisol seluas 636,24 ha (Nilai K = 0,31), Aluvial seluas 526,06 ha (Nilai K = 0,19) dan Podsolik seluas 500,33 ha (Nilai K = 0,16). Nilai K tanah kambisol dan gleisol berdasarkan klasifikasi erodibilitas tanah menurut USDA 1973 termasuk memiliki kepekaan tanah terhadap erosi yaitu sedang sedangkan jenis tanah podsolik dan aluvial berada di kelas erodibilitas tanah yang rendah serta untuk jenis tanah oksisol memiliki tingkat kepekaan terhadap erosi yang tergolong sangat rendah.

#### Nilai Panjang dan Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng dan panjang lereng merupakan dua sifat utama dari topografi yang mempengaruhi erosi. Kemiringan lereng dan panjang lereng memberikan dampak terhadap laju aliran permukaan yang membawa lapisan tanah atas beserta unsur hara dari tempat satu ke tempat lainnya yang lebih rendah (Ardianto, 2017).

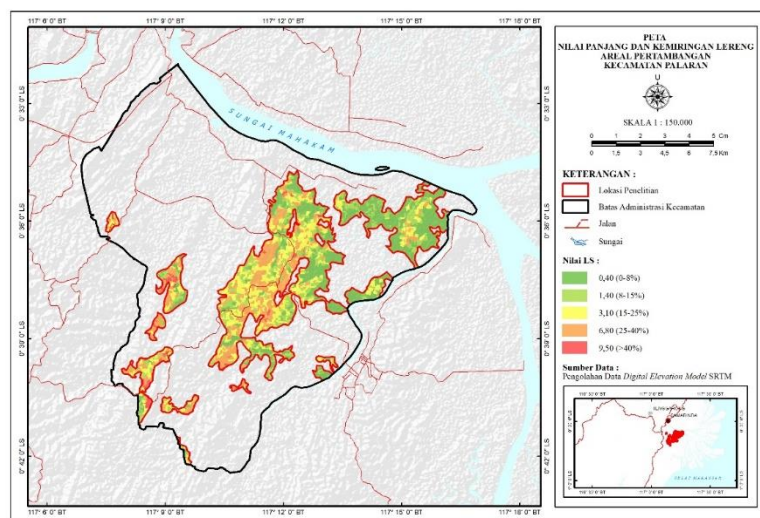
Berdasarkan Peta Kemiringan Lereng hasil pengolahan data SRTM, kelas kemiringan lereng di Kecamatan Palaran beraneka ragam yaitu datar hingga sangat curam. Kemiringan lereng beserta Nilai LS disajikan dalam Tabel 12 berikut ini.

**Tabel 12.** Kemiringan Lereng dan Nilai Panjang dan Kemiringan Lereng (LS).

Kelas Lereng	Kemiringan Lereng (%)	Nilai LS	Luas (Ha)	Persentase (%)
I	0 – 8 (Datar)	0,40	1.489,34	34,54
II	8 – 15 (Landai)	1,40	802,95	18,62
III	15 – 25 (Agak Curam)	3,10	1.047,94	24,30
IV	25 – 40 (Curam)	6,80	880,61	20,42
V	> 40 (Sangat Curam)	9,50	91,42	2,12
<b>Jumlah</b>			<b>4.312,26</b>	<b>100</b>



Terdapat 5 (lima) kelas kemiringan lereng terdiri dari kelas lereng I (nilai LS = 0,40), kelas lereng II (nilai LS = 1,40), kelas lereng III (nilai LS = 3,10), kelas lereng IV (nilai LS = 6,80) dan kelas lereng V (nilai LS = 9,50). Kemiringan lereng yang mendominasi adalah kelas lereng I seluas 1.489,34 ha (34,54%) sedangkan kelas lereng yang memiliki luasan paling kecil adalah kelas lereng V seluas 91,42 ha (2,12%). Kemiringan lereng agak curam, curam dan sangat curam memiliki persentase luasan sebesar 46.84% yang berarti pada wilayah tersebut memiliki potensi yang cukup tinggi untuk terjadinya erosi. Menurut Martono (2004) menyatakan bahwa lereng yang semakin curam dan semakin panjang akan meningkatkan besarnya erosi, jika lereng semakin curam maka kecepatan aliran permukaan meningkat sehingga daya angkutnya juga meningkat. Sebaran kemiringan dan Nilai LS disajikan dalam Gambar 1.



**Gambar 1.** Sebaran Nilai Panjang dan Kemiringan Lereng.

## Nilai Tanaman dan Tindakan Pengelolaan Tanah

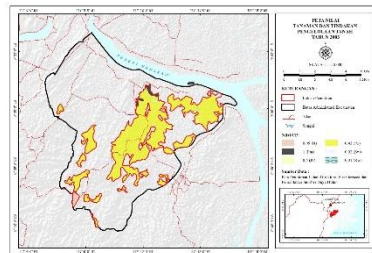
### a. Sebelum Ada Kegiatan Pertambangan

Terjadinya erosi pada suatu wilayah erat kaitannya dengan penutupan lahan. Besarnya erosi pada areal yang terbuka seperti tanah terbuka, permukiman, pertambangan dan lain sebagainya tentu akan lebih besar dibandingkan pada areal dengan penutupan lahan bervegetasi. Untuk menentukan Nilai Tanaman dan Tindakan Pengelolaan Tanah (CP) sebelum adanya kegiatan pertambangan digunakan data Penutupan Lahan tahun 2003 dari Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan yang cakupan wilayahnya berdasarkan hasil dileniasi dimana areal tersebut pada tahun 2020 sudah menjadi pertambangan. Terdapat 6 (enam) kelas penutupan lahan antara lain semak belukar, pertanian lahan kering, pertanian lahan kering campur semak, sawah, permukiman dan rawa. Penutupan lahan tahun 2003 beserta Nilai CP disajikan dalam Tabel 13 berikut ini.

**Tabel 13.** Nilai Tanaman dan Tindakan Pengelolaan Tanah (CP) Tahun 2003.

No	Kelas Penutupan Lahan	Nilai CP	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Semak Belukar (B)	0,3	53,35	1,24
2	Permukiman (Pm)	0,95	76,19	1,77
3	Pertanian Lahan Kering (Pt)	0,28	22,23	0,52
4	Pertanian Lahan Kering Campur Semak (Pc)	0,19	4.074,37	94,48
5	Sawah (Sw)	0,01	67,30	1,56
6	Rawa (Rw)	0,01	18,81	0,44
<b>Jumlah</b>			4.312,26	100

Berdasarkan Tabel 13 menunjukkan bahwa pada tahun 2003 tutupan lahan sebelum adanya kegiatan pertambangan masih berupa aktifitas pemanfaatan dan penggunaan lahan oleh masyarakat untuk permukiman dan lahan pertanian seperti pertanian lahan kering, pertanian lahan kering campur semak, sawah. Adapun kelas penutupan lahan yang paling dominan adalah pertanian lahan kering campur semak (Nilai CP = 0,19) seluas 4.074,37 ha dengan persentase luas mencapai 94,48% sedangkan penutupan lahan yang terkecil yaitu rawa (Nilai CP = 0,01) dengan luas sebesar 18,81 ha (0,44%). Sebaran penutupan lahan dan Nilai CP disajikan dalam Gambar 2.

**Gambar 2.** Sebaran Nilai Tanaman dan Tindakan Pengelolaan Tanah Kecamatan Palaran Tahun 2003.

#### b. Sesudah Ada Kegiatan Pertambangan

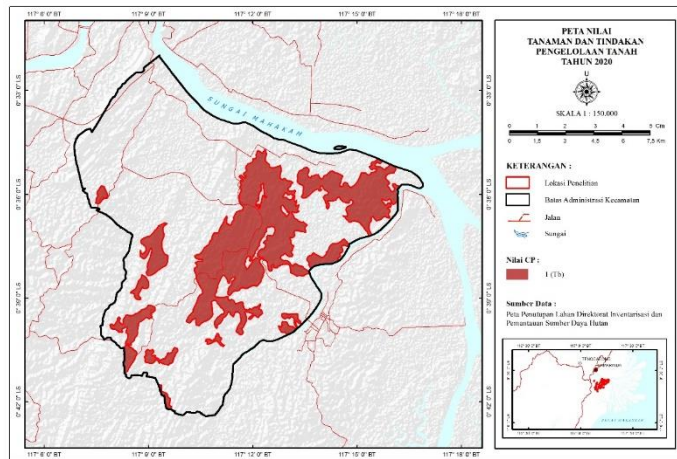
Penentuan nilai tanaman dan tindakan pengelolaan tanah (CP) setelah adanya kegiatan pertambangan dilakukan berdasarkan hasil dileniasi penafsiran tutupan lahan pada tahun 2020 dengan tutupan lahan yang diinterpretasi sebagai areal yang merupakan kegiatan pertambangan. Adapun penutupan lahan pertambangan tahun 2020 beserta Nilai CP disajikan dalam Tabel 14 berikut ini.

Berdasarkan Tabel 14 kelas penutupan lahan pertambangan pada tahun 2020 adalah seluas 4.312,26 ha dengan nilai CP yang tinggi. Penggunaan lahan dengan nilai CP yang tinggi menunjukkan bahwa vegetasi yang ada belum cukup untuk mengendalikan erosi. Selain itu nilai CP tinggi juga menunjukkan bahwa tidak ada penerapan tindakan konservasi tanah yang dilakukan (Rhoshandhayani, 2019).

**Tabel 14.** Nilai Tanaman dan Tindakan Pengelolaan Tanah (CP) Tahun 2020.

No	Kelas Penutupan Lahan	Nilai CP	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Pertambangan (Tb)	1	4.312,26	100
<b>Jumlah</b>			<b>4.312,26</b>	<b>100</b>

Vegetasi sangat penting dalam mengurangi laju erosi. Kanopi dari vegetasi sangat baik dalam mengurangi besarnya daya hancur hujan, sedangkan akar dan batang vegetasi dapat membantu mengikat tanah dan air, sehingga akan mengurangi laju erosi (Munandar et al, 2016). Berikut ini merupakan sebaran penutupan lahan pertambangan dan Nilai CP disajikan dalam Gambar 3.



**Gambar 3.** Sebaran Nilai Tanaman dan Tindakan Pengelolaan Tanah Kecamatan Palaran Tahun 2020.

## Analisis Data

### Pendugaan Nilai Erosi

Untuk mendapatkan nilai erosi dilakukan *overlay* data spasial curah hujan, jenis tanah, kelerengan dan penutupan lahan melalui menu *identity* pada software ArcGIS. Terdapat 2 (dua) proses *overlay* data yaitu *overlay* dengan menggunakan data curah hujan dan penutupan lahan sebelum kegiatan tambang (Tahun 2003) dan sesudah kegiatan tambang (Tahun 2020). Untuk data kelerengan dan jenis tanah dalam kedua proses *overlay* tersebut menggunakan data yang sama mengingat data tersebut bersifat statis (tidak berubah). Hasil *overlay* menghasilkan 67 satuan lahan untuk analisis dugaan erosi sebelum kegiatan tambang dan 23 satuan lahan untuk analisis dugaan erosi sesudah kegiatan tambang. Adapun pembagian wilayah satuan lahan dapat dilihat pada Lampiran 8.

Selanjutnya data hasil *overlay* tersebut diinput nilainya berdasarkan hasil penghitungan dan penentuan erosivitas hujan (R), erodibilitas tanah (K), panjang dan kemiringan lereng (LS), tanaman dan tindakan pengelolaan tanah (CP). Satuan lahan per kelas penutupan lahan pada periode sebelum adanya kegiatan pertambangan disajikan pada

tabel Lampiran 9. Laju erosi sebelum tambang yang paling tinggi adalah pada satuan lahan R-G-IV-Pm sebesar 3.211,29 ton/ha/thn diikuti dengan R-G-III-Pm sebesar 1.463,97ton/ha/thn, R-B-V-B sebesar 1.051,13 ton/ha/thn dan R-G-V-Pc sebesar 897,27 ton/ha/thn. Rata-rata laju erosi tertinggi terjadi pada kelas penutupan lahan permukiman yaitu sebesar 659,49 ton/ha/thn sedangkan rata-rata laju erosi terendah pada kelas penutupan lahan semak belukar yaitu sebesar 397,75 ton/ha/thn. Dugaan besarnya erosi yang terjadi pada tahun 2003 yaitu sebesar 430.342,11 ton/thn dengan rata-rata besar erosi sebesar 99,80 ton/ha/thn.

Laju erosi sebelum adanya kegiatan pertambangan terjadi akibat aktifitas masyarakat dalam kegiatan penggunaan dan pemanfaatan lahan untuk kehidupan sehari-hari berupa kegiatan pengembangan permukiman penduduk dan pertanian.

Areal yang sebelumnya terdiri dari kelas penutupan lahan semak belukar, pertanian lahan kering, sawah kemudian berdasarkan hasil interpretasi/penafsiran citra satelit tahun 2020 seluruhnya merupakan tutupan lahan pertambangan. Satuan lahan periode sesudah adanya kegiatan pertambangan dapat dilihat pada tabel Lampiran 10. Laju erosi tambang yang paling tinggi adalah pada satuan lahan R-G-V-Tb sebesar 4.116,46 ton/ha/thn diikuti dengan R-B-V-Tb sebesar 3.054,15 ton/ha/thn, R-G-IV-Tb sebesar 2.946,52 ton/ha/thn dan R-B-IV-Tb sebesar 2.186,13 ton/ha/thn. Rata-rata laju erosi penutupan lahan pertambangan yaitu sebesar 997,10 ton/ha/thn. Dugaan besarnya erosi yang terjadi pada tahun 2020 yaitu sebesar 1.901.332,98 ton/thn dengan rata-rata besar erosi sebesar 440,91 ton/ha/thn.

Erosi yang terjadi pada areal sebelum dan sesudah pertambangan memiliki perbedaan nilai yang signifikansi dimana besar erosi sebelum adanya kegiatan tambang sebesar 430.342,11 ton/thn sedangkan setelah areal tersebut dikonversi menjadi pertambangan besarnya nilai erosi sebesar 1.901.332,98 ton/thn dengan peningkatan besarnya erosi mencapai 1.470.990.87 ton/thn.

#### Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi

Hasil penghitungan laju erosi dengan metode USLE dengan mengkalkulasikan nilai R (erosivitas hujan), nilai K (erodibilitas tanah), nilai LS (panjang dan kemiringan lereng) serta nilai CP (tanaman dan tindakan pengelolaan tanah) sebelum dan sesudah kegiatan pertambangan tersebut kemudian diklasifikasikan berdasarkan kelas tingkat bahaya erosi (TBE) sebagaimana Tabel 15.

**Tabel 15.** Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi Sebelum Kegiatan Tambang.

No	Laju Erosi (ton/thn/ha)		Kelas Bahaya Erosi	Tingkat Bahaya Erosi	Luas (Ha)	%
	Nilai Minimal	Nilai Maksimal				
1	0,19	12,80	I	Sangat Ringan	677,43	15,71
2	15,41	55,68	II	Ringan	1.666,37	38,64
3	62,15	179,45	III	Sedang	1.304,64	30,25
4	188,90	476,51	IV	Berat	557,80	12,94
5	488,51	3.211,29	V	Sangat Berat	106,03	2,46
Jumlah					4.312,26	100

Dari klasifikasi tingkat bahaya erosi sebelum kegiatan tambang di atas diketahui bahwa tingkat bahaya erosi yang dominan berada pada kelas I (sangat ringan) sampai dengan III (sedang) dengan persentase luasan mencapai 84.6%. Kelas bahaya erosi paling luas adalah kelas II (ringan) yaitu seluas 1.666,37 ha (38,64%). Kelas erosi I (sangat ringan) memiliki luas 677,43 ha (15,71%), kelas III seluas 1.304,64 ha (30,25%). Kelas tingkat bahaya erosi IV (berat) dan V (sangat berat) masing-masing seluas 557,80 ha (12,94%) dan 106,03 ha (2,46%) dengan persentase luasan total keduanya sebesar 15,40%. Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa vegetasi penutup lahan sebelum adanya kegiatan tambang berupa semak belukar, lahan pertanian dll masih mampu untuk mengurangi dan menekan lajunya erosi pada areal tersebut sehingga sebaran areal yang memiliki kelas erosi berat dan sangat berat tidak begitu dominan.

Setelah diketahui tingkat bahaya erosi sebelum adanya kegiatan pertambangan kemudian selanjutnya adalah melakukan klasifikasi tingkat bahaya erosi terhadap areal yang sekarang merupakan areal pertambangan. Kelas tingkat bahaya erosi sesudah kegiatan tambang disajikan pada Tabel 16 berikut ini.

**Tabel 16.** Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi Sesudah Kegiatan Tambang.

No	Laju Erosi (ton/thn/ha)		Kelas Bahaya Erosi	Tingkat Bahaya Erosi	Luas (ha)	%
	Nilai Minimal	Nilai Maksimal				
1	16,77	58,71	II	Ringan	618,10	14,33
2	89,46	173,32	III	Sedang	1.780,22	41,28
3	285,15	450,09	IV	Berat	986,64	22,88
4	606,64	4.116,46	V	Sangat Berat	927,31	21,50
Jumlah					4.312,26	100

Terdapat 4 kelas tingkat bahaya erosi berdasarkan Tabel 16 dan Gambar 3 di atas yang terdiri dari ringan, sedang, berat dan sangat berat. Dapat dilihat bahwa tidak terdapat kelas tingkat bahaya erosi sangat ringan pada klasifikasi TBE setelah adanya kegiatan pertambangan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa terdapat peningkatan status TBE yang semula pada kelas ringan (I) menjadi kelas yang lebih tinggi dan peluang tersebut dapat terjadi juga pada kelas TBE lainnya.

Berdasarkan klasifikasi tingkat bahaya erosi sesudah kegiatan tambang di atas diketahui bahwa tingkat bahaya erosi yang dominan berada pada kelas III (sedang) dengan persentase luas mencapai 41,28% dengan luas 1.780,22 ha. Adapun kelas TBE IV (berat) dan V (sangat berat) masing-masing seluas 986,64 ha (22,88%) dan 927,31 ha (21,50%) dengan persentase luasan total keduanya sebesar 44.38%. Terjadi peningkatan sebesar 28.98% pada kelas TBE IV dan V dengan kelas erosi sebelum adanya kegiatan penambangan. Hal itu disebabkan hilangnya vegetasi penutupan lahan pada areal pertambangan sehingga laju erosi menjadi meningkat. Menurut Sutedja dan Kartasapoetra (2005), lahan yang bervegetasi umumnya lebih menyerap air, karena serasah permukaan

mengurangi pengaruh pukulan tetesan hujan. Disamping itu, bahan organik dan mikroorganisme serta akar-akar tanaman cenderung meningkatkan porositas tanah dan memantapkan struktur tanah. Vegetasi juga berperan dalam menjaga keberadaan air tanah, meningkatkan peluang menyimpan air tanah dan menyebabkan laju infiltrasi yang lebih tinggi.

Hasil dari klasifikasi tingkat bahaya erosi sebelum dan sesudah kegiatan tambang di Kecamatan Palaran kemudian dilakukan analisis perbandingan perubahannya melalui matriks. Matriks tersebut dapat menunjukkan terjadinya perubahan atau distribusi kelas tingkat bahaya erosi meningkat menjadi kelas yang lebih tinggi atau sebaliknya. Adapun matriks perbandingan tingkat bahaya erosi tahun 2003 dan tahun 2020 disajikan dalam Tabel 17 sebagai berikut.

**Tabel 17.** Matriks Perbandingan Tingkat Bahaya Erosi Tahun 2003 dan Tahun 2020.

No.	Tingkat Bahaya Erosi Tahun 2003	Tingkat Bahaya Erosi Tahun 2020				Jumlah
		II	III	IV	V	
1	I	601,64	73,45	1,62	0,71	677,43
2	II	11,91	1.654,44		0,01	1.666,37
3	III	4,55	14,96	980,95	304,18	1.304,64
4	IV		37,37	4,06	516,37	557,80
5	V				106,03	106,03
	<b>Jumlah</b>	<b>618,10</b>	<b>1.780,22</b>	<b>986,64</b>	<b>927,31</b>	<b>4.312,26</b>

Pada tingkat bahaya erosi kelas I tahun 2003 seluas 677,43 ha, setelah adanya pertambangan terdistribusi ke dalam 3 kelas tingkat bahaya erosi yang lebih tinggi antara lain kelas II seluas 601,64 ha, kelas III seluas 73,45 ha, kelas IV seluas 1,62 ha dan kelas V seluas 0,71 ha.

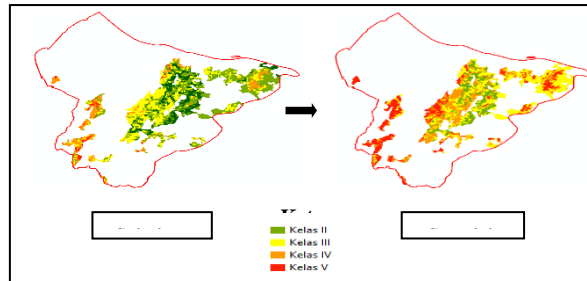
Pada tingkat bahaya erosi kelas II seluas 1.666,37 ha masih terdapat kelas TBE seluas 11,91 ha yang tidak berubah namun terdapat areal yang meningkat statusnya menjadi kelas III seluas 1.654,44 ha dan kelas V seluas 0,01 ha.

Pada tingkat bahaya erosi kelas III seluas 1.304,64 ha, sebagian areal kelas TBE III mengalami peningkatan menjadi kelas TBE IV seluas 980,95 ha dan kelas TBE V seluas 304,18 ha namun terdapat areal yang tidak mengalami perubahan yaitu seluas 14,96 ha. Terdapat areal yang mengalami penurunan menjadi kelas TBE II seluas 4,55 ha. Hal ini disebabkan perbedaan nilai faktor erosivitas hujan yang digunakan dalam penghitungan laju erosi. Nilai erosivitas tahun 2003 (sebelum pertambangan) lebih tinggi daripada nilai erosivitas tahun 2020 (sesudah pertambangan). Selain itu, hal tersebut disebabkan karena faktor nilai tanaman dan tindakan pengelolaan yang perbedaannya tidak signifikan. Oleh karena itu, nilai erosivitas yang menjadi penentu besarnya laju erosi pada areal tersebut.

Pada tingkat bahaya erosi kelas IV seluas 557,80 ha, terdapat perubahan kelas TBE menjadi kelas TBE V seluas 516,37 ha. Adapun areal seluas 4,06 ha masih terklasifikasi sebagai kelas TBE IV serta terdapat areal yang mengalami penurunan menjadi kelas TBE III seluas 37,37 ha dengan faktor yang sama dengan kelas TBE III.

Pada tingkat bahaya erosi kelas V seluas 106,03 ha tidak mengalami perubahan kelas TBE karena pada kelas tersebut didominasi oleh faktor nilai timbang yang tinggi terutama pada nilai panjang dan kemiringan lereng (LS) yang didominasi oleh kelas keterengan 25-40% (Nilai LS = 6,8) serta kelas lereng > 40% (Nilai LS = 9,5).

Adapun perbandingan sebaran kelas tingkat bahaya erosi (TBE) sebelum tambang (tahun 2003) dan sesudah tambang (tahun 2020) disajikan dalam Gambar 4. di bawah ini.



**Gambar 4.** Sebaran Kelas TBE Sebelum dan Sesudah Tambang.

#### D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pendugaan erosi sebelum dan sesudah tambang yang dilakukan di Kecamatan Palaran, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut: Nilai erodibilitas tanah pada areal sebelum dan sesudah kegiatan tambang antara lain oksisol (nilai  $K = 0,03$ ) seluas 1.819,82 ha, kambisol (Nilai  $K = 0,23$ ) seluas 829,81 ha, gleisol (Nilai  $K = 0,31$ ) seluas 636,24 ha, aluvial (nilai  $K = 0,19$ ) seluas 526,06 ha dan podsolik (Nilai  $K = 0,16$ ) seluas 500,33 ha.

Dugaan besarnya erosi yang terjadi pada tahun 2003 (sebelum ada tambang) yaitu sebesar 430.342,11 ton/thn dengan rata-rata besar erosi sebesar 99,80 ton/ha/thn sedangkan dugaan besarnya erosi yang terjadi pada tahun 2020 (setelah ada tambang) yaitu sebesar 1.901.332,98 ton/thn dengan rata-rata besar erosi sebesar 440,91 ton/ha/thn.

Rata-rata laju erosi tertinggi tahun 2003 (sebelum tambang) terjadi pada kelas penutupan lahan permukiman yaitu sebesar 659,49 ton/ha/thn sedangkan rata-rata laju erosi terendah pada kelas penutupan lahan semak belukar yaitu sebesar 397,75 ton/ha/thn sedangkan rata-rata laju erosi penutupan lahan pertambangan yaitu sebesar 997,10 ton/ha/thn.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anda, M., Ritung, S., Suryani, E., Hikmat, M., Yatno, E., Mulyani, A., & Subandiono, R. E. (2021). Revisiting tropical peatlands in Indonesia: Semi-detailed mapping, extent and depth distribution assessment. *Geoderma*, 402, 115235.
- Ardianto, K. (2017). *Pengukuran Dan Pendugaan Erosi Pada Lahan Perkebunan Kelapa Sawit Dengan Kemiringan Berbeda* (Doctoral dissertation, Riau University).
- Arikunto. (2006). *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta : PT.Rineka Cipta.
- Arsyad, S. (2012). *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press. Edisi Kedua.
- Dangler, E. W., & El-Swaify, S. A. (1976). Erosion of selected Hawaii soils by simulated rainfall. *Soil Science Society of America Journal*, 40(5), 769-773.



- Hariyadi. (2016). Perkiraan Tingkat Bahaya Erosi Menggunakan Universal Soil Loss Equation (Usle) Dan GIS Di Wilayah UPT PSDA Lumajang. Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Ispriyanto, R., & Arifjaya, N. M. (2001). Aliran Permukaan dan Erosi di Areal Tumpangsari Tanaman Pinus Merkusii Jungh. Et de Vriese. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 7(1).
- Lenvain, J. S., & Pauwelyn, P. L. (1988). Comparison of the physical properties of two Zambian Paleustalfs. *Tlie Red Soils Of East Aho Soutliern Africa*, 379.
- Martati, E. (2009). Perhitungan besar erosi tanah dengan pendekatan universal soil loss equation (USLE) di kecamatan Jumapolo.
- Martono, M. (2004). *Pengaruh Intensitas Hujan dan Kemiringan Lereng Terhadap Laju Kehilangan Tanah Pada Tanah Regosol Kelabu* (Doctoral dissertation, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro).
- Munandar, R., & Jayanti, D. S. (2016). Pemodelan intersepsi untuk pendugaan aliran permukaan. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Agrotechno*, 1(1), 62-69. <https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/458793>
- Novitasari, N. (2006). Analisis Erosi lahan Pada Lahan Revegetasi Pasca Tambang. *INFO-TEKNIK*, 7(2), 67-71. DOI: <http://dx.doi.org/10.20527/infotek.v7i2.1708>
- Purwantara, S., & Nursa'ban, M. (2012). Pengukuran Tingkat Bahaya Bencana Erosi Di Kecamatan Kokap. *Geo Media: Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian*, 10(1).
- Rhoshandhayani. (2019). Prediski Erosi di Wilayah Jawa Timur. Semarang: Universitas Diponogoro.
- Sadono, R., Khan, K., Kusuma, A. F., Siregar, D. I., Yuwono, T., Peday, H. F. Z., & Ruhimat, I. S. (2022). Land cover and carbon storage in a certified sustainable community forest in Sumberejo village, Wonogiri, Central Java, using landsat data series 2000, 2015 and 2020. *Poljoprivreda i Sumarstvo*, 68(3), 183-198.
- Sarwono, J. (2006). Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Subardja, D., S. Ritung, M. Anda, Sukarman, E. Suryani, dan R.E. Subandiono. (2014). Petunjuk Teknis Klasifikasi Tanah Nasional. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Bogor.
- Sugiyanto, S. (2010). *Tingkat Erosi Tanah Di Kecamatan Ampel Kabupaten Boyolali Propinsi Jawa Tengah* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Sutedjo, M. M., & Kartasapoetra, A. G. (2005). Teknologi Konservasi Tanah dan Air. Jakarta: Rineka Cipta.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning* (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.