

ANALISIS LAJU EROSI DAERAH ALIRAN SUNGAI CACABAN MENGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS PADA PERIODE 2013-2022

Jelly Resky Kelana Rampu^{*)}, Abdi Sukmono, Nurhadi Bashit

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : jrampu28@gmail.com

ABSTRAK

Daerah Aliran Sungai (DAS) cacaban terletak di wilayah Kabupaten Tegal dan salah satu DAS yang termasuk dalam DAS prioritas karena sering terjadi bencana banjir. Bencana banjir terjadi karena sedimentasi akibat erosi tanah. Kajian pemetaan daerah rawan erosi di dalam DAS merupakan salah satu langkah dasar yang diperlukan untuk pengelolaan DAS yang baik. Penelitian ini bermaksud untuk mengetahui laju erosi pada periode tahun 2013 hingga tahun 2022 di area DAS Cacaban dan klasifikasi tingkat bahaya erosinya. Metode yang digunakan adalah *Universal Soil Loss Equation* (USLE) pada Sistem Informasi Geografis (SIG) menggunakan data curah hujan, Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS), data jenis tanah, citra landsat 8, dan data administrasi. Hasil perhitungan diperoleh laju erosi pada tahun 2013 sebesar 213,676 Ton/ha, tahun 2016 sebesar 249,741 Ton/ha, tahun 2019 sebesar 173,651 Ton/ha serta tahun 2022 sebesar 348,899 Ton/ha. Laju erosi meningkat setiap tahun tetapi pada tahun 2019 menurun akibat curah hujan yang berkurang oleh fenomena El-Nino. Berdasarkan hasil tersebut Tingkat Bahaya Erosi DAS Cacaban termasuk pada kelas Berat. Faktor tutupan lahan yang paling mempengaruhi erosi adalah tutupan lahan pertanian kering yang luasnya bertambah tiap tahun dengan erosi rata-rata 3.298.360 ton.

Kata Kunci : DAS Cacaban, Laju Erosi, Tingkat Bahaya Erosi, USLE

ABSTRACT

The Cacaban Watershed located in the Tegal Regency area and one of the watersheds that is included in the watershed priority because of the frequent occurrence of floods. Flood disasters occur due to sedimentation due to soil erosion. Studying the vulnerability of erosion-prone areas within the watershed is one of the basic steps needed for good watershed management. This study aims to determine the rate of erosion in the period 2013 to 2022 in the Cacaban watershed area and classify the level of erosion hazard. The method used is the Universal Soil Loss Equation (USLE) on a Geographic Information System (GIS) using rainfall data, the National Digital Elevation Model (DEMNAS), soil type data, Landsat 8 imagery, and administrative data. The calculation results obtained that the erosion rate in 2013 amounted to 213,676 tons/ha, in 2016 it was 249,741 tons/ha, in 2019 it was 173,651 tons/ha and in 2022 it was 348,899 tons/ha. The erosion rate increases every year but in 2019 it decreased due to reduced rainfall caused by the El-Nino phenomenon. Based on this, the Erosion Hazard Level of the Cacaban Watershed is included in the heavy class. The land cover factor that most influences erosion is dry agricultural land cover whose area increases every year with an average erosion of 3,298,360 tonnes.

Keyword: *Cacaban Watershed, Erosion Rate, Erosion Hazard Level, USLE*

^{*)}Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki banyak DAS, Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Kehutanan Nomor SK.328/Menhut-II/2009 menetapkan 108 DAS kritis yang perlu dilakukan prioritas pemulihan. Salah satu dari DAS kritis yang diprioritaskan adalah DAS Cacaban yang berada di wilayah Kabupaten Tegal (Menteri Kehutanan Republik Indonesia, 2009a). DAS Cacaban termasuk dalam DAS Prioritas dikarenakan sering terjadi bencana banjir dan longsor ketika musim penghujan tiba. Bencana banjir terjadi karena pendakalan sungai akibat sedimentasi.

Sedimentasi membuat sungai tidak dapat mengalirkan air sungai sesuai dengan daya tampungnya ketika musim hujan terjadi.

Pada DAS Cacaban terdapat Waduk Cacaban yang ada pada bagian hilir sungai. Menurut penelitian Anggara dan Wahyudi (2016; 2002) Waduk Cacaban sudah tersedimentasi atau pengendapan sebesar 68% dari kapasitas waduk. Berkurangnya tampungan air akan mempengaruhi fungsi waduk khususnya dalam penyediaan air untuk irigasi, pembangkit listrik, air baku, pengendalian banjir dan lain sebagainya (Wahyudi, 2002). Oleh Karena itu, Erosi tanah perlu

diprediksi untuk mendapatkan penanganan yang tepat dalam manajemen dan konservasi wilayah DAS.

Persamaan yang kerap kali digunakan untuk memprediksi erosi adalah model persamaan *Universal Soil Loss Equation* (USLE). Metode USLE mempunyai kelebihan yakni sistem pengolahan datanya yang sederhana. USLE telah empat puluh tahun lebih dipergunakan sebagai metode pendugaan besar erosi yang cukup baik (Lesmana, 2020). Erosi dapat dimodelkan dengan Sistem Informasi Geografis (SIG). SIG memiliki beberapa kelebihan yaitu pengelolaan penyimpanan dan manajemen data spasial yang baik, visualisasi dan diseminasi peta dan data atau informasi spasial, dan memiliki kemampuan melakukan analisis spasial yang mudah dan terstruktur dengan waktu yang relatif singkat (Purwadi dan Susanto, 1994).

Perhitungan laju erosi ini menggunakan model *Universal Soil Loss Equation* (USLE) pada periode 2013, 2016, 2019 dan 2022 menggunakan data citra satelit Landsat 8, data elevasi berupa DEMNAS, data curah hujan, dan data jenis tanah yang diolah menggunakan metode Sistem Informasi Geografis (SIG). Nilai erosi yang diperoleh dari model USLE kemudian dapat dipergunakan untuk menduga laju erosi yang terjadi pada suatu kawasan dan menetapkan klasifikasi tingkat bahaya erosi. Hasil analisis Tingkat Bahaya Erosi (TBE) di wilayah DAS Cacaban disajikan dalam bentuk peta tematik SIG. Analisis laju erosi sangat penting dilakukan sebagai bahan pertimbangan dalam pelaksanaan manajemen dan konservasi wilayah DAS. Penelitian ini dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam merumuskan tindakan pengelolaan dan manajemen DAS Cacaban dan Waduk Cacaban.

I.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana Laju Erosi DAS Cacaban pada periode 2013, 2016, 2019 dan 2022?
2. Bagaimana Tingkat Bahaya Erosi di DAS Cacaban pada periode 2013, 2016, 2019 dan 2022?
3. Bagaimana analisis faktor yang mempengaruhi Laju Erosi DAS Cacaban pada periode 2013, 2016, 2019 dan 2022?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Memperoleh nilai erosi pada DAS Cacaban pada periode 2013, 2016, 2019 dan 2022
2. Mengetahui faktor yang mempengaruhi perubahan erosi pada DAS Cacaban pada periode 2013, 2016, 2019 dan 2022.

I.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Klasifikasi tingkat bahaya erosi menggunakan klasifikasi United States Department of Agriculture (USDA).
2. Data Curah Hujan melakukan interpolasi menggunakan metode Inverse Distance Weighting (IDW).

3. Validasi dilakukan dengan survei lapangan dari klasifikasi tutupan lahan tahun 2022 menggunakan teknik proportionate stratified random sampling.
4. Faktor konservasi tanah diasumsikan dikelaskan menjadi tanpa tindakan konservasi tanah.
5. Data Sub-DAS hanya yang bermuara ke Waduk Cacaban.

II. Tinjauan Pustaka

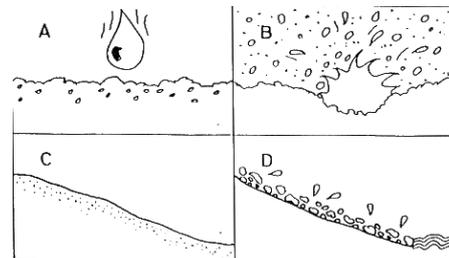
II.1 Daerah Aliran Sungai (DAS) / Watershed

Menurut Dixon (1986), DAS berarti suatu area yang dibatasi secara topografis oleh punggung bukit dan air hujan yang jatuh diteruskan oleh suatu sistem sungai. Setiap DAS terbagi habis di dalam Sub-Sub DAS, Sub-DAS adalah bagian dari DAS yang menadah air hujan lalu mengalirkannya melalui anak sungai menuju sungai utama. DAS memiliki 3 komponen utama yang menjadi ciri khas dan utamanya, yaitu (Kementerian Kehutanan Direktorat Jendral Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutana Sosial, 2013):

- a. Wilayah yang dibatasi oleh puncak gunung/bukit dan punggung/igir-igirnya;
- b. hujan yang jatuh di atasnya diterima, disimpan, dan dialirkan oleh sistem sungai;
- c. sistem sungai itu keluar melalui satu outlet tunggal.

II.2 Erosi

Erosi adalah proses terkikis dan terangkutnya tanah dari suatu bidang tanah dari satu tempat ke tempat lain yang disebabkan oleh pergerakan air dan angin (Arsyad, 2009). Proses erosi bermula dari pecahnya lapisan permukaan tanah sebagai akibat pukulan air hujan yang memiliki daya lebih besar dari pada daya tahan tanah, hancuran partikel tanah yang menyempal pori-pori tanah menyebabkan kapasitas infiltrasi tanah menurun sehingga air mengalir di permukaan tanah sebagai limpasan permukaan (*run off*).



Gambar II-1 Proses terjadinya Erosi (Derpsch, 1991)

(A) dampak tetesan air hujan pada permukaan tanah gundul. (B) menyebabkan terlepasnya partikel-partikel tanah yang kecil. (C) menyumbat pori-pori dan terbentuknya segel permukaan. (D) air mengalir membawa partikel tanah, yang diendapkan menuruni lereng ketika kecepatan limpasan berkurang.

II.3 Model *Universal Soil Loss Equation* (USLE)

USLE adalah sebuah model yang diperuntukan memprediksi rata-rata laju erosi tahunan pada suatu wilayah dalam pengolahan dan manajemen tutupan

lahan (Wischmeier dan Smith, 1978). Model USLE akan menghitung banyaknya tanah yang akan tererosi dalam suatu wilayah. Persamaan matematis USLE menggunakan 6 faktor sebagai berikut:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \dots \dots \dots \text{II.1}$$

- dimana:
- A = banyaknya tanah tererosi dalam ton/ha/tahun (Laju Erosi)
 - R = faktor erosivitas hujan
 - K = faktor erodibilitas tanah
 - L = faktor panjang lereng
 - S = faktor kemiringan lereng
 - C = faktor Pengelolaan tanaman
 - P = faktor tindakan konservasi

Berdasarkan Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P. 32/MENHUT-II/2009 Tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Rehabilitas Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai, faktor-faktor tersebut dijelaskan sebagai berikut (Menteri Kehutanan Republik Indonesia, 2009):

1. Erosivitas Hujan (R)

Erosivitas curah hujan ditetapkan untuk setiap satuan lahan. Indeks erosivitas curah hujan EI30 secara umum diterima karena mempunyai korelasi terbaik dengan tanah hilang di Indonesia. Metode penghitungan erosivitas curah hujan bergantung pada data curah hujan yang tersedia. Dianjurkan agar menggunakan rumus Bols jika diketahui jumlah hari hujan dalam bulan tertentu, jumlah curah hujan bulanan rata-rata dan curah hujan harian rata-rata maksimal pada bulan tertentu. Rumus Lenvain juga dapat digunakan apabila hanya tersedia data curah hujan bulanan rata-rata.

Rumus Bols (1978) :

$$Rm = 6,119 \times (Rain)m^{1,27} \times (Days)m^{0,47} \times (Max P)m^{0,53} \dots \dots \dots \text{II.2}$$

$$R = \sum_{m=1}^{12} Rm \dots \dots \dots \text{II.3}$$

dimana :

- R = erosivitas curah hujan tahunan rata-rata
- Rm = erosivitas curah hujan bulanan rata-rata (EI30)
- (Rain)m = jumlah curah hujan bulanan rata rata (cm)
- (Days)m = jumlah hari hujan bulanan rata rata pada bulan tertentu
- (Max P)m = curah hujan harian rata-rata maksimal pada bulan tertentu (cm)

Rumus Lenvain (1978) :

$$Rm = 2,21 \times (Rain)m^{1,36} \dots \dots \dots \text{II.4}$$

$$R = \sum_{m=1}^{12} Rm \dots \dots \dots \text{II.5}$$

dimana :

- R = erosivitas curah hujan tahunan
- Rm = Curah hujan bulanan
- (Rain)m = jumlah curah hujan bulanan (cm)

2. Faktor Erodibilitas Tanah (K)

Faktor erodibilitas tanah adalah indeks kuantitatif kerentanan tanah terhadap erosi air. Sifat-sifat fisik tanah seperti struktur tanah, tekstur, persentase bahan organik dan permeabilitas sangat berpengaruh pada erodibilitas tanah. Umumnya tanah dengan erodibilitas rendah mempunyai proporsi pasir

halus dan debu yang rendah, struktur yang baik, kandungan bahan organik yang tinggi dan tingkat infiltrasi yang tinggi. Berikut adalah rumus erodibilitas tanah (K) dari Hammer yang disesuaikan menurut perkiraan Asdak (2018):

$$K = \{2,71 \times 10^{-4} \times (12 - OM) \times M^{1,14} + 4,20 \times (S - 2) + 3,23 \times (P - 3)\} / 100 \dots \dots \dots \text{II.5}$$

dimana :

- K = faktor erodibilitas tanah, dalam satuan SI (metrik) ton.ha.jam/(ha.MJ.mm)
- OM = persentase bahan organik
- S = kelas struktur tanah
- P = kelas permeabilitas tanah
- M = (%debu + %pasir sangat halus) x (100 - %lempung)

3. Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng (LS)

Faktor panjang dan kemiringan lereng adalah perbandingan antara besarnya erosi per indeks erosi dari suatu lahan berdasarkan panjang dan kemiringan lahan tertentu terhadap besarnya erosi dari plot lahan percobaan. Kemiringan lereng dinyatakan dalam bentuk persen atau derajat (Arsyad, 2009). Perhitungan faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) menurut Moore dan Burch (1986) mengikuti persamaan:

$$LS = \left(Q \times \frac{PX}{22,13} \right)^{0,4} \times \left(\frac{\sin \theta}{0,0896} \right)^{1,3} \dots \dots \dots \text{II.7}$$

dimana :

- K = faktor panjang dan kemiringan lereng
- Q = akumulasi aliran
- PX = ukuran pixel
- θ = kemiringan lereng

4. Faktor Pengelolaan Tanaman (C)

Faktor pengelolaan tanaman ditunjukan sebagai angka perbandingan yang berhubungan dengan tanah hilang tahunan pada wilayah yang bervegetasi dengan wilayah yang sama jika wilayah tersebut kosong dan ditanami secara teratur. Semakin rendah nilai erosi apabila semakin baik perlindungan permukaan tanah oleh tanaman pangan/vegetasi. Nilai faktor C berkisar antara 1,0 pada tanah kosong hingga 0,001 pada hutan tak terganggu. Faktor tanaman penutup lahan dan manajemen tanaman adalah perbandingan antara besarnya erosi dari suatu lahan dengan penutup tanaman dengan manajemen tanaman tertentu terhadap lahan yang identik tanpa tanaman (Asdak, 2018).

Tabel II-1 Faktor pengelolaan tanaman / Tutupan lahan (Asdak, 2018)

No	Penggunaan Lahan (<i>Land Use</i>)	Nilai C (<i>C Index</i>)
1	Hutan (<i>Forest</i>)	0,001
2	Lahan kosong (<i>Bare land</i>)	1,000
3	Sawah (<i>Paddy Fields</i>)	0,020
4	Tegalan (<i>Garden</i>)	0,510
5	Pemukiman (<i>Settlement</i>)	0,600
6	Badan Air (<i>River, lake, etc.</i>)	0,000

5. Faktor Tindakan Konservasi

Faktor konservasi atau manajemen tanaman adalah tindakan konservasi tanah dimana perbandingan besarnya erosi dari lahan dengan tindakan konservasi khusus seperti pengolahan tanah menurut kontur dalam strip atau teras terhadap besarnya erosi pada tanah yang diolah searah lereng dalam keadaan identik (Arsyad, 2009).

Tabel II-2 Faktor tindakan konservasi(Arsyad, 2009)

Tindakan Khusus Pengelolaan Tanah	Nilai P
Teras Bangku :	
- Konstruksi Baik	0,040
- Konstruksi Sedang	0,150
- Konstruksi Kurang baik	0,350
- Teras tradisional	0,400
Strip tanaman rumput Bahia	0,400
Pengelolaan tanaman menurut garis kontur	0,5-0,9
Tanpa tindakan pengelolaan tanah/konservasi	1,000

II.4 Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi (TBE)

Penentuan tingkat bahaya erosi (TBE) pada setiap satuan lahan dipertimbangkan berdasarkan Perkiraan erosi rata-rata tahunan. Pada penelitian ini perkiraan laju erosi tahunan menggunakan USLE dikelaskan menurut kelas TBE USDA. Kelas TBE ditentukan dengan menggunakan nilai sebagai berikut:

Tabel II-3 Klasifikasi tingkat bahaya erosi (Wischmeier dan Smith, 1978)

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

II.5 Sistem Informasi Geospasial (SIG)

SIG diartikan sebagai sebuah sistem yang mengorganisir perangkat lunak, perangkat keras dan data, hingga melakukan pendayagunaan sistem penyimpanan, pengolahan, serta analisis data secara serentak hingga akan dihasilkan informasi yang berkaitan dengan aspek keruangan (Purwadhi dan Susanto, 1994).

II.6 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh (remote sensing) menurut Kiefer dan Lillesdan (1990) adalah suatu ilmu serta seni guna memperoleh informasi tentang suatu daerah, objek atau fenomena melalui data analisis yang diperoleh menggunakan suatu alat tanpa membutuhkan kontak langsung dengan daerah, objek atau fenomena yang akan diteliti.

II.6.1 Landsat 8

Landsat 8 ialah citra satelit yang diluncurkan pada 11 Februari 2013 dari Vandenberg Air Force Base, California dengan roket Atlas-V. Resolusi temporal dari citra Landsat 8 adalah 16 hari untuk dapat kembali ke lokasi perekaman yang sama.

Landsat 8 memiliki 11 band spektral, dimana tujuh band pada resolusi 30 m, satu band pada resolusi 15 m, dan dua band pada resolusi spasial 100 m.

II.6.2 Klasifikasi Terbimbing (Supervised)

Proses mengelompokkan data nilai-nilai piksel yang bervariasi menjadi suatu kelas dengan karakteristik yang nilai spektral yang sama disebut dengan klasifikasi. Proses klasifikasi Supervised menggunakan sampel yang di ambil dari training area yang sudah ditetapkan (Danoedoro, 2012).

II.7 Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS)

DEM atau Digital Elevation Model merupakan suatu model permukaan bumi yang digambarkan oleh data-data dalam bentuk piksel atau grid yang memiliki nilai data ketinggian dari permukaan laut atau datum tertentu. DEM dapat diperoleh dari citra RADAR, data kontur ketinggian atau data stereo photogrammetry (Putra, 2011).

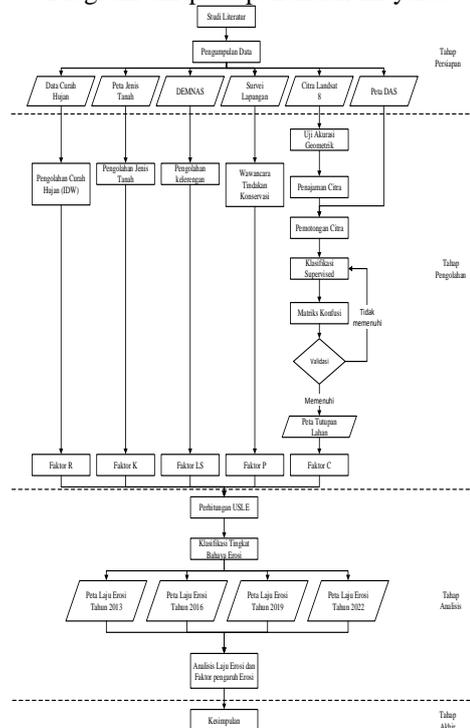
III. Metodologi Penelitian

III.1 Ruang Lingkup Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan pada daerah aliran sungai (DAS) Cacaban yang terletak di Kabupaten Tegal, Jawa tengah, Indonesia. Sungai cacaban mengalir dari selatan ke utara serta memiliki panjang sungai utama kurang lebih 27 km. DAS Cababan sering meluap akibat terjadinya sedimentasi di sungai. Sedimentasi ini terjadi karena erosi tanah yang terjadi di bagian hulu sungai. Akibatnya sungai dan waduk meluap dan mengakibatkan banjir setinggi 1,5 meter.

III.2 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini yaitu:



Gambar III-1. Diagram alir

III.3 Alat dan Data Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian yaitu perangkat keras berupa Laptop, GPS Handheld, Smartphone. Serta perangkat lunak berupa ArcGIS, Envi, Microsoft Office Word 2016, Microsoft Office Excel 2016 dan Microsoft Office Visio 2016

Data yang digunakan dalam penelitian yaitu Citra satelite Landsat 8 tahun 2013, 2016, 2019 dan 2022; DEMNAS; Data curah hujan tahun 2013, 2016, 2019, 2022 dari 10 pos hujan; Data jenis tanah tahun 2010; Data wilayah DAS berupa Batas DAS Cacaban.

III.4 Tahap Pengolahan

III.4.1 Pengolahan Data Erosivitas Hujan (Faktor R)

Perhitungan nilai R dihitung pada setiap bulannya kemudian dilakukan perataan pada setiap daerah yang mewakili titik-titik stasiun yang akan digunakan dalam pembuatan Peta Curah Hujan setiap bulan dengan metode IDW pada aplikasi ArcGIS. Nilai curah hujan hasil IDW diolah dengan perhitungan berdasarkan rumus Lenvain (1978) yang diproses menggunakan *raster calculator*. Hasil perhitungan nilai R mendapatkan output berupa peta erosivitas hujan pada tahun 2013, 2016, 2019 dan 2022.

III.4.2 Pengolahan Data Erodibilitas Tanah Faktor K)

Data jenis tanah yang digunakan merupakan data jenis tanah dari Kabupaten Tegal yang mengelilingi area perairan Waduk Cacaban. Data tersebut kemudian di deliniasi sesuai dengan wilayah DAS Cacaban. Hasil deliniasi yang telah menjadi batas DAS kemudian diklasifikasi berdasarkan data jenis tanah dan nilai K yang terdapat pada Puslitbang Pengairan Bogor (1985).

III.4.3 Pengolahan Data Panjang dan Kemiringan Lereng (Faktor LS)

Proses pengolahan data panjang dan kemiringan lereng menggunakan perhitungan *slope* dan *accumulation flow* di *software* ArcGIS. Pada prosesnya, nilai LS dihitung berdasarkan rumus Moore dan Brunch (1986). Akumulasi aliran didapatkan dari data DEM dengan pengolahan *flow direction* kemudian diolah dengan *flow accumulation*. Sedangkan data kemiringan diperoleh dari data DEM dengan pengolahan *slope* dalam bentuk derajat.

III.4.4 Pengolahan Data Pengelolaan Tanaman (Faktor C)

Tahap ini untuk mendapatkan nilai pada setiap tutupan lahan yang berkaitan dengan nilai indeks C. Proses pengolahan data pengelolaan tanaman meliputi uji ketelitian geometrik, klasifikasi *supervised*, matriks konfusi dan input nilai indeks C.

1. Uji Ketelitian Geometrik

Uji ketelitian geometrik dilakukan Berdasarkan PERKA BIG No 6 Tahun 2018, ICP yang digunakan dalam uji ketelitian geometrik sebanyak 12 titik. Titik acuan didapatkan dari titik persimpangan jalan pada peta acuan berupa peta RBI skala 1:25.000. kemudian dilakukan perhitungan ketelitian.

2. Klasifikasi *Supervised*

Tahap proses *supervised* yakni menginput citra yang telah dipilih kemudian dilakukan proses *Pansharpening* untuk meningkatkan resolusi spasial citra dari resolusi 30 m menjadi resolusi 15 m. hal ini dilakukan untuk mempermudah dalam pengambilan *training area*. Pengambilan sampel untuk pengelompokan data-data tutupan lahan dimana memiliki label tersendiri setiap tutupan lahan tersebut. Proses selanjutnya yakni klasifikasi *supervised* menggunakan metode *maximum likelihood* dikarenakan memiliki keunggulan dengan cara mengevaluasi kuantitatif varian maupun korelasi pola tanggapan spektral pada saat mengklasifikasi piksel yang tidak dikenal.

3. Matriks konfusi

Hasil klasifikasi yang dilakukan sebelumnya dengan metode *supervised* perlu dicek dan diuji kebenarannya terhadap kondisi sebenarnya yang ada di lapangan. Jumlah sampel yang digunakan untuk menguji hasil klasifikasi sebanyak 113 sampel yakni Badan Air 6 sampel, Hutan 18 sampel, Lahan kosong 3 sampel, Lahan terbangun 20 sampel, Pertanian basah 34 sampel, Pertanian kering 32 sampel. Jumlah setiap kelas sampel ditentukan menggunakan *proportionate stratified random sampling*.

4. Masukan nilai Indeks C

Data hasil klasifikasi *supervised* digunakan untuk memasukan nilai indeks tiap satuan lahan yang ada pada daerah studi. Nilai indeks C menunjukkan indikasi ketahanan tutupan lahan terhadap pengaruh erosi yang terjadi dalam lahan itu. Semakin tutupan lahan bervegetasi yang lebih rapat maka nilai nilai erosi akan semakin kecil begitupula sebaliknya.

III.4.5 Konservasi Tanah (Faktor P)

Data konservasi tanah dilakukan dengan melakukan wawancara kepada pegawai Balai Penyuluh Pertanian dan Balai Penyuluh Kehutanan yang melewati wilayah DAS Cacaban. Hasil yang didapatkan diasumsikan mengelaskan keseluruhan wilayah DAS Cacaban pada kelas tanpa tindakan pengelolaan tanah.

III.4.6 Perhitungan USLE (*Overlay*)

Perhitungan USLE untuk memprediksi rata-rata laju erosi tahunan. Dalam proses *overlay* perlu diperhatikan bentuk data yakni vektor atau *raster*. Penelitian ini menggunakan standar *raster* untuk melakukan *overlay* dengan menggunakan *raster calculator*. Selain itu, ukuran dari setiap *grid raster* harus disamakan agar sesuai dengan indikasi setiap satuan tutupan lahan. Ukuran *grid* yang digunakan sebesar 30x30 meter sesuai dengan ukuran *grid* terbesar yakni berasal dari data Landsat 8.

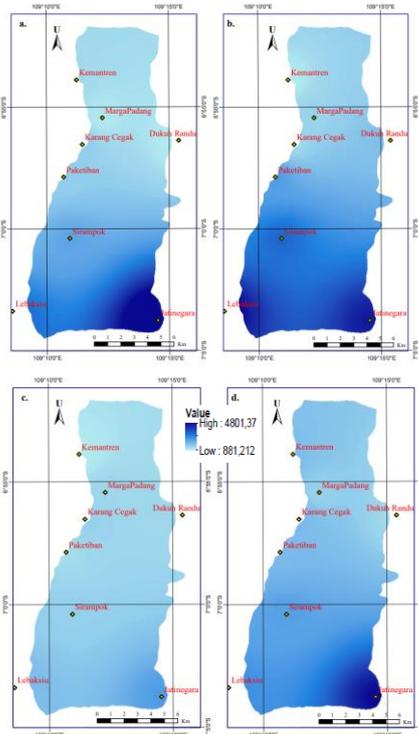
III.4.7 Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi (TBE)

Hasil dari *overlay* parameter-parameter yang ada merupakan Laju Erosi setiap satuan lahan pertahunnya. Hasil tersebut perlu diklasifikasi bersarakan tingkat bahaya erosi yang berbeda-beda. Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi dilakukan dengan menggunakan klasifikasi USDA dalam 5 kelas.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Erosivitas Hujan

Hasil dari erosivitas hujan diambil dari 10 pos hujan di Kabupaten Tegal yang mempengaruhi area DAS Cacaban seperti pada Gambar IV-1.



Gambar IV-1 Hasil erosivitas Hujan (a) Tahun 2013, (b) Tahun 2016, (c) Tahun 2019, dan (d) Tahun 2022

Erosivitas yaitu jumlah satuan indeks erosi hujan, yang merupakan perkalian antara energy hujan total (A) dan intensitas hujan maksimum 30 menit (I30), tahunan dalam KJ/ha. Nilai R disajikan pada Tabel IV-1.

Tabel IV-1 Data erosivitas hujan di tiap pos hujan

Pos Hujan	CH Tahunan (mm)			
	Tahun 2013	Tahun 2016	Tahun 2019	Tahun 2022
Jatinegara	3477	3598	2702	4559
MargaPadang	1731	1966	1641	2054
Kemantren	1780	1764	1226	2417
Procot	1650	2390	2006	2650
Lebakitu	2000	3581	2224	3238
Kertasari	1717	1879	1402	1789
Dukuh Randu	1683	2160	1660	1809
Sirampok	2203	2989	1816	2995
Paketiban	1875	2513	1491	2498
Karang Cegak	1904	1881	1774	2563
Rata-rata	2002	2472	1794	2657
Nilai R Max	2989,930	2996,250	2343,090	4801,370
Nilai R Min	1122,900	1154,180	881,212	1144,810

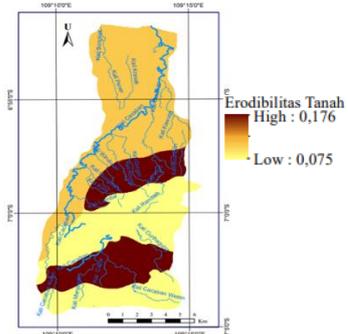
Warna merah menunjukkan curah hujan maksimum tiap tahunnya sedangkan warna hijau menunjukkan curah hujan minimum tiap tahunnya. Nilai erosivitas hujan tertinggi terjadi pada tahun 2022 terdapat pada pos hujan Jatinegara dengan nilai R sebesar 4801,370 KJ/ha. Nilai erosivitas hujan terendah pada tahun 2019 terdapat pada pos hujan Kemantren dengan nilai R sebesar 881,212 KJ/ha.

Nilai R cenderung menurun pada tahun 2019 dikarenakan fenomena El Nino. Fenomena El-Nino

mengakibatkan suhu permukaan laut yang lebih dingin menyebabkan sulitnya pertumbuhan awan yang berpotensi hujan akibat kurangnya kadar uap air di atmosfer akibat rendahnya penguapan dari lautan sehingga mengakibatkan pengurangan curah hujan dari biasanya. Berkurangnya curah hujan ini mengakibatkan laju erosi menurun dari tahun sebelumnya.

IV.2 Erodibilitas Tanah

Hasil parameter erodibilitas tanah berdasarkan jenis tanah yang berada pada area sekitar DAS Cacaban seperti pada Gambar IV-2 dan Nilai K disajikan pada Tabel IV-2.



Gambar IV-2 Hasil Erodibilitas Tanah DAS Cacaban
Tabel IV-2 Klasifikasi Jenis Tanah dan Hasil Nilai K

No.	Jenis Tanah	Erodibilitas Tanah (K)	Luas tanah (ha)	Luas tanah (%)
1	Aluvial	0,156	7180,258	42,15
2	Grumusol	0,176	4038,671	23,71
3	Latosol	0,075	5817,545	34,14

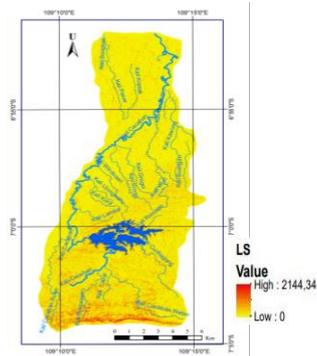
Jenis Tanah pada DAS Cacaban dibagi menjadi 3 jenis tanah yakni aluvial, grumusol dan latosol. Pada bagian hulu dan tengah sungai didominasi oleh jenis tanah latosol dan grumusol dimana latosol seluas 5817,545 Ha yang menutupi sekitar 34,14% dan grumusol seluas 4038,671 Ha yang menutupi sekitar 23,71%. Sedangkan pada bagian hilir sungai didominasi oleh jenis tanah aluvial seluas 7180,258 Ha yang menutupi sekitar 42,15% wilayah DAS Cacaban.

IV.3 Panjang dan Kemiringan Lereng

Faktor panjang dan kemiringan lereng yaitu nisbah antara besarnya erosi per indeks erosi dari suatu lahan dengan panjang dan kemiringan lahan tertentu terhadap besarnya erosi dari plot lahan. Nilai dan distribusi faktor LS dapat dilihat pada Tabel IV-3 dan Gambar IV-3.

Tabel IV-3 Klasifikasi Luasan Kelerengan dan Nilai LS

Kemiringan Lereng	Keterangan	Luas (ha)	Luas (%)
0-8%	Datar/landai	11700,540	68,49%
8-15%	Agak miring	3972,252	23,25%
15-25%	Miring	1140,299	6,67%
25-45%	Curam	269,7614	1,58%
>45%	Terjal	1,25818	0,01%



Gambar IV-3. Distribusi Spasial Tingkat Kelerengan

Kelerengan pada DAS Cacaban yang berada pada area Perairan Waduk Cacaban paling besar mendominasi berada pada kelas 0-8° dengan luas mencapai 11.700,54 ha atau 68,49% dari luas keseluruhan dan yang terkecil pada kelas lebih dari 45° dengan luas 1,25 ha atau 0,01%. Nilai LS akan semakin besar ketika kemiringan lereng semakin besar dapat dilihat dari data tersebut bahwa terdapat 31,51% daerah yang relatif miring dengan lebih dari 8° yang menunjukkan daerah tersebut memiliki laju erosi yang semakin besar ketika bertambahnya kemiringannya. Pada daerah hulu sungai didominasi oleh kemiringan lereng yang lebih dari 8° sedangkan pada daerah hilir sungai didominasi oleh kemiringan kurang dari 8° (landai). Nilai faktor LS terbesar yaitu sebesar 2144,34 yang ada pada hulu sungai.

IV.4 Pengelolaan dan Konservasi Tanah

IV.4.1 Uji Geometrik

Penelitian ini dilakukan uji geometrik dengan titik ICP yang mengacu pada peta RBI skala 1:25.000 wilayah Kabupaten Tegal. Penetapan jumlah sebaran ICP untuk ketelitian horizontal mengacu pada Modul Validasi Peta Rencana Tata Ruang BIG tahun 2016 yang menetapkan jumlah sebaran ICP. Berdasarkan rumus, didapatkan hasil uji ketelitian dengan standar peta RBI 1:50.000 memenuhi kelas 1.

Tabel IV-4 Hasil uji ketelitian horizontal

Tahun	RMSE ICP (m)	CE90 (m)	Ketelitian Peta Skala 1 : 50.000		
			Kelas 1 (m)	Kelas 2 (m)	Kelas 3 (m)
2013	9,193	13,951	15	30	45
2016	9,692	14,708	15	30	45
2019	10,257	15,565	15	30	45
2022	9,637	14,625	15	30	45

IV.4.2 Matriks konfusi

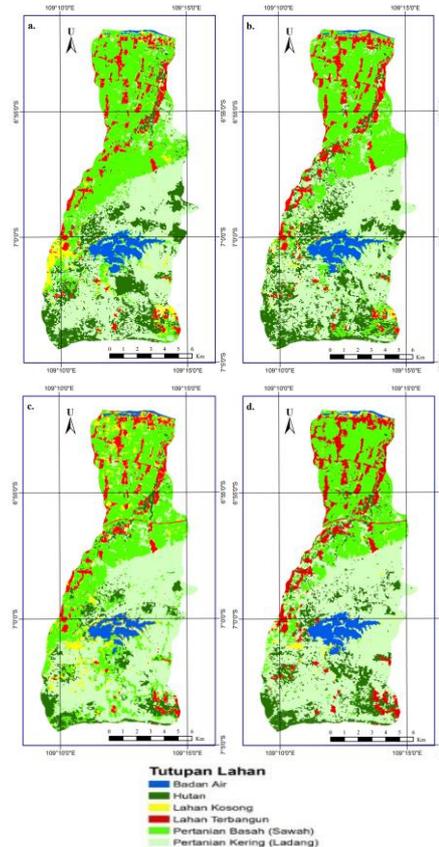
Matriks konfusi menunjukkan hubungan antara hasil klasifikasi berdasarkan interpretasi citra dengan sampel data yang dapat sesuai kondisi sebenarnya. Pada penelitian ini menggunakan rumus Anderson dalam penentuan jumlah sampel yang menghasilkan 64 titik sampel. pada pengambilan validasi lapangan di ambil 113 sampel agar peneliti memiliki data lebih.

V/P	Pengolahan						User accuracy	
	Badan air	Hutan	Lahan kosong	Pemukiman	Pertanian Basah	Pertanian Kering		Total
Badan Air	6						6	100%
Hutan		18					18	100%
Lahan Kosong			3				3	100%
Pemukiman		1		19			20	95%
Pertanian Basah					32	2	34	94%
Pertanian Kering		2		1	3	26	32	81%
Total	6	21	3	20	35	28	113	
Producers accuracy	100%	86%	100%	95%	91%	93%		

Hasil overall accuracy dari perhitungan yakni sebesar 92% dan kappa accuracy sebesar 90%. Hasil tersebut sudah memenuhi standar 80% yang sudah di harapkan.

IV.4.3 Klasifikasi Supervised

Hasil klasifikasi menghasilkan tutupan lahan menjadi 6 kelas klasifikasi, yaitu: Badan Air, Hutan, Lahan Kosong, Lahan Terbangun, Pertanian Basah (sawah), Pertanian Kering (ladang). Hasil olahan tersebut berupa peta tutupan lahan seperti pada Gambar IV-4.



Gambar IV-4 Peta tutupan Lahan (a) Tahun 2013, (b) Tahun 2016, (c) Tahun 2019, dan (d) Tahun 2022

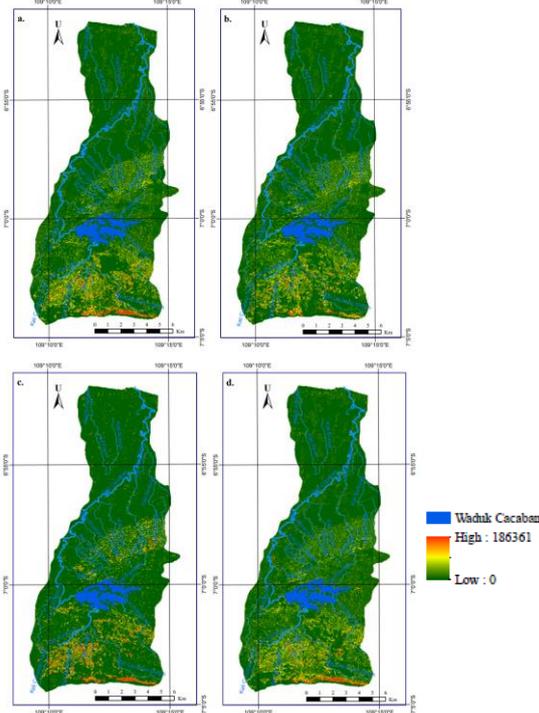


Gambar IV-5 Luas tutupan Lahan dari tahun 2013 hingga 2022

Dari Gambar IV-5 dapat dilihat bahwa adanya *trend* penurunan pada wilayah hutan dan pertanian basah yang merupakan tutupan lahan yang memiliki ketahanan tinggi terjadinya erosi tetapi dapat dilihat juga bahwa Pertanian kering mengalami *trend* kenaikan luas tutupan lahan yang mengakibatkan daya resapan air berkurang.

IV.5 Laju Erosi Perhitungan USLE

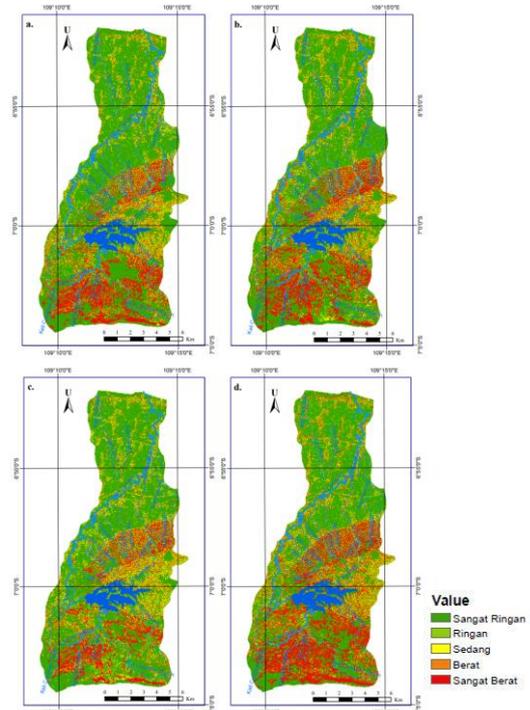
Hasil *overlay* tersebut diperoleh peta laju erosi di DAS Cacaban yang mengalir pada Waduk Cacaban di tahun 2013, 2016, 2019 dan 2022 yang dapat dilihat pada Gambar IV-6.



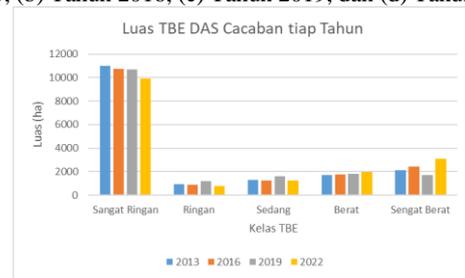
Gambar IV-6 Peta laju erosi di DAS Cacaban (a) Tahun 2013, (b) Tahun 2016, (c) Tahun 2019, dan (d) Tahun 2022 Berdasarkan hasil pengolahan menggunakan USLE didapatkan besar laju erosi rata-rata di DAS Cacaban pada tahun 2013 sebesar 213,676 Ton/ha, tahun 2016 sebesar 249,741 Ton/ha, tahun 2019 sebesar 173,651 Ton/ha serta tahun 2022 sebesar 348,899 Ton/ha. Pada tahun 2019 mengalami penurunan dikarenakan curah hujan yang berkurang akibat fenomena El Nino. Laju erosi yang besar didapatkan pada bagian hulu sungai dimana didominasi oleh relief miring hingga terjal, tutupan lahan berupa pertanian kering dengan nilai C yang besar, serta curah hujan yang tinggi. Laju Erosi yang kecil didapatkan pada bagian hilir sungai dimana reliefnya yg landau, tutupan lahan berupa pertanian basah dengan nilai C yang kecil, serta curah hujan yang relatif rendah.

IV.6 Klasifikasi TBE

Hasil klasifikasi tersebut diperoleh peta sebaran tingkat bahaya erosi di DAS Cacaban yang mengalir pada Waduk Cacaban di tahun 2013, 2016, 2019 dan 2022. Pada Gambar IV-7 kelas TBE dibagi atas 5 yakni kelas sangat ringan, ringan, sedang, berat dan sangat berat.



Gambar IV-7 Peta Tingkat Bahaya Erosi (a) Tahun 2013, (b) Tahun 2016, (c) Tahun 2019, dan (d) Tahun 2022

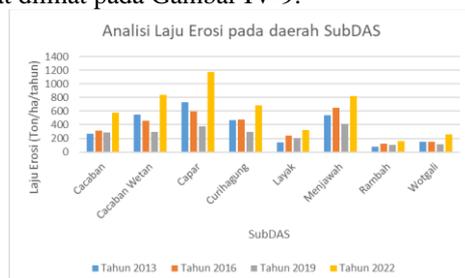


Gambar IV-8 Luas TBE DAS Cacaban

Pada Gambar IV-8 dapat dilihat bahwa nilai TBE pada tahun 2019 mengalami peningkatan pada kelas sangat ringan, ringan, dan sedang serta pada penurunan pada kelas Sangat berat karena nilai laju erosi mengalami penurunan akibat fenomena El-Nino. Berkurangnya curah hujan sangat berpengaruh pada hasil laju erosi dan klasifikasi nilai TBE. Nilai TBE pada kelas sangat ringan mengalami trend penurunan luas sebaliknya pada kelas berat dan sangat berat mengalami trend peningkatan luas. Ini mengindikasikan adanya peningkatan pada terjadinya erosi.

IV.6.1 Analisis Laju Erosi Berdasarkan Sub-DAS

Hasil analisis dari pengolahan faktor laju Erosi dapat dilihat pada Gambar IV-9.

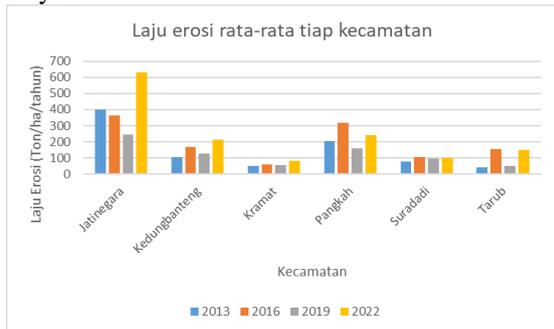


Gambar IV-9 Laju erosi pada area Sub-DAS

Dalam analisis Sub-DAS yang bermuara ke Waduk Cacaban, Laju Erosi terbesar terjadi pada Sub-DAS Capar pada tahun 2022 yang termasuk ke dalam kelas TBE Sangat Berat diikuti oleh Sub-DAS Menjawah dan Cacaban Wetan. Laju Erosi terendah terjadi pada Sub-DAS Rambah diikuti oleh Sub-DAS Wotgali.

IV.6.2 Analisis Laju Erosi Berdasarkan Batas Wilayah

Hasil analisis laju erosi berdasarkan batas wilayah:



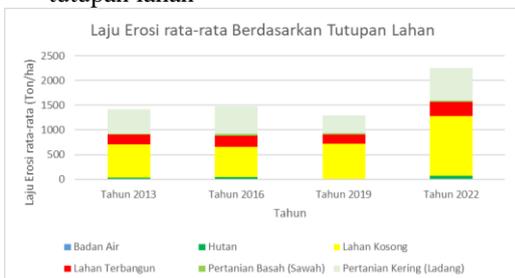
Gambar IV-10 Laju erosi tiap kecamatan

Berdasarkan wilayah administrasi kecamatan yang dilewati sungai Cacaban, klasifikasi tingkat bahaya erosi terdapat 2 kelas yang termasuk dalam TBE kelas berat yakni kecamatan Jatinegara dan pangkah dengan rata-rata erosi sebesar 408,655 Ton/ha/tahun dan 231,454 Ton/ha/tahun serta TBE kelas sedang yakni kecamatan Pangkah, kecamatan Kedungbanteng, kecamatan Tarub, dan kecamatan Kramat.

Berdasarkan wilayah administrasi desa wilayah DAS Cacaban, klasifikasi tingkat bahaya erosi terdapat 5 kelas yang mana yang termasuk dalam kelas Sangat berat ada 5 Desa yakni wilayah desa Pangkah, Padasari, Gantungan, Capar dan Dukuhbangsa. Ada 15 Desa yang masuk dalam TBE kelas berat, 19 Desa masuk dalam kelas TBE sedang, 17 Desa masuk dalam TBE kelas Ringan, 1 Desa masuk dalam TBE kelas Ringan.

IV.7 Analisis Faktor yang Mempengaruhi Laju Erosi

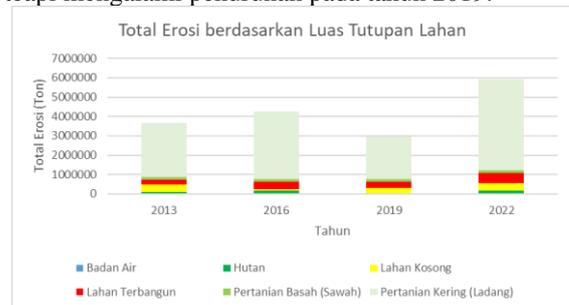
IV.7.1 Analisis laju erosi berdasarkan perubahan tutupan lahan



Gambar IV-11 Laju erosi berdasarkan tutupan lahan

Tutupan lahan hutan mengalami trend peningkatan erosi tiap tahunnya yang signifikan terjadi pada tahun 2022 akan tetapi tahun 2016 ke 2019 mengalami penurunan. Tutupan lahan kosong mengalami penurunan laju erosi pada tahun 2016 akan

tetapi mengalami peningkatan di tahun 2019 hingga pada tahun 2022 mengalami peningkatan yg cukup tinggi. Tutupan lahan terbangun mengalami kenaikan laju erosi laju erosi tiap tahun akan tetapi mengalami penurunan pada tahun 2019. Tutupan lahan pertanian basah mengalami peningkatan dan penurunan laju erosi tiap tahunnya. Tutupan lahan kering mengalami peningkatan laju erosi laju tiap tahunnya akan tetapi mengalami penurunan pada tahun 2019. Tutupan lahan hutan mengalami trend peningkatan tiap tahunnya akan tetapi mengalami penurunan pada tahun 2019.



Gambar IV-12 Total erosi berdasarkan luas tutupan lahan

Jumlah total erosi dalam ton yang didapatkan dari perkalian luas kelas tutupan lahan tiap tahunnya dengan laju erosi rata-rata tiap kelas tutupan lahan tiap tahunnya. Kelas tutupan lahan pertanian kering yang paling berpengaruh pada erosi pada DAS Cacaban dengan rata-rata 3.298.359,834 ton pertahun. Disusul berturut-turut oleh kelas tutupan lahan terbangun, lahan kosong, pertanian basah, kemudain hutan.

IV.7.2 Analisis laju erosi berdasarkan perubahan curah hujan

Penelitian ini menganalisis hubungan curah hujan terhadap laju erosi.

Tabel IV-5 Pengaruh Curah Hujan Terhadap Laju Erosi

Tahun	Laju Erosi rata-rata Tahunan (Ton/ha/tahun)	Curah Hujan tahunan (mm)	Jumlah bulan
2013	213,676	2002	12
2016	249,741	2472	12
2019	173,651	1794	12
2022	348,899	2657	12

Tabel IV-6 dianalisis bahwa semakin tinggi curah hujan maka semakin besar juga nilai laju erosi. Data tahun 2013 sampai 2022 ditemukan korelasi antara curah hujan tahunan dan laju erosi rata-rata tahunan sebesar 0,97 yakni korelasi yang sangat kuat. Pada tahun 2019 terjadi penurunan laju erosi disebabkan oleh curah hujan yang rendah. Hal ini disebabkan oleh fenomena El-Nino yang membuat curah hujan menurun tidak seperti biasanya sehingga mengakibatkan musim kemarau yang lebih panjang.

V. Penutup

V.1 Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan yang diambil berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan:

1. Laju Erosi didapatkan pada tahun 2013 sebesar 213,676 Ton/ha, tahun 2016 sebesar 249,741 Ton/ha, tahun 2019 sebesar 173,651 Ton/ha serta tahun 2022 sebesar 348,899 Ton/ha. Pada tahun 2019 laju erosi mengalami penurunan karena terjadinya fenomena El Nino. Laju erosi yang besar didapatkan pada bagian hulu sungai dimana didominasi oleh relief miring hingga terjal, tutupan lahan berupa pertanian kering dengan nilai C yang besar, serta curah hujan yang tinggi.
2. Laju Erosi DAS Cacaban diklasifikasikan berdasarkan klasifikasi USDA sebagai berikut :
 - a) Berdasarkan Laju Erosi DAS Cacaban secara keseluruhan pada tahun 2013, 2016 dan 2022 termasuk pada kelas berat, sedangkan tahun 2019 termasuk pada kelas sedang.
 - b) Berdasarkan wilayah Sub-DAS yang bermuara ke Waduk Cacaban laju erosi dikelaskan ke dalam 3 kelas TBE yakni kelas sangat berat, kelas berat dan kelas sedang. Sub-DAS Sungai Capar, Cacaban Wetan dan Menjawah masuk pada kelas Sangat berat.
 - c) Berdasarkan kecamatan yang dilewati sungai Cacaban, klasifikasi tingkat bahaya erosi terdapat 2 kelas yang termasuk dalam TBE kelas berat yakni kecamatan Jatinegara dan pangkah serta Berdasarkan wilayah administrasi desa wilayah DAS Cacaban, klasifikasi tingkat bahaya erosi terdapat 5 kelas yang mana yang termasuk dalam kelas Sangat berat ada 6 Desa yakni wilayah desa Pangkah, Padasari, Gantungan, Lebaksu Lor, Capar dan Dukuhbangsa.
3. Terdapat 2 faktor yang bersifat dinamis yakni faktor curah hujan dan faktor tutupan lahan. Faktor tutupan lahan yang paling mempengaruhi erosi adalah tutupan lahan pertanian kering yang luasnya bertambah tiap tahunnya dan mempunyai andil besar dalam erosi. Faktor curah hujan memiliki korelasi yang sangat kuat dengan laju erosi pada DAS Cacaban dimana semakin tinggi curah hujan maka semakin besar juga nilai laju erosi.

V.2 Saran

Beberapa hal yang dapat penulis rekomendasikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Menghitung data erosi tiap tahun untuk menghitung sediment yang terendap dan dapat memprediksi kapan daya tampung waduk jenuh.

2. Menggunakan citra satelit yang memiliki resolusi yang lebih tinggi dan bersih akan tutupan awan agar dapat lebih muda mengklasifikasikan tutupan lahan.
3. Menggunakan data konservasi tanah agar data dapat menampilkan hasil yang lebih baik dan lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

Anggara, WWS, and Nuny Sundari. 2016. "Studi Perubahan Volume Waduk Cacaban Dengan Survei Pemeruman Waduk." *jurnal Teknik Pengairan* 7: 310–15. <https://www.jurnalpengairan.ub.ac.id/index.php/jtp/article/view/302>.

Arsyad, Sitanala. 2009. *Konservasi Tanah Dan Air*. PT Penerbit IPB Press.

Asdak, Chay. 2018. *Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press.

Asdak, Chay, Paul G Jarvis, and Paul V Gardingen. 1998. "Modelling Rainfall Interception in Unlogged and Logged Forest Areas of Central Kalimantan, Indonesia." *Hydrology and Earth System Sciences* 2(2/3): 211–20.

Dixon, John A, and K William Easter. 1986. "Integrated Watershed Management: An Approach to Resource Management." *Watershed Resources Management*: 3–15.

Kementrian Kehutanan Direktorat Jendral Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutana Sosial. 2013. *Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Dan Perhutanan Sosial Nomor: P.3/V-SET/2013 Tentang Pedeoman Identifikasi Karakteristik Daerah Aliran Sungai*.

Kiefer, and Lillesand. 1990. "Penginderaan Jauh Dan Interpretasi Citra."

Menteri Kehutanan Republik Indonesia. 2009a. *Keputusan Menteri Kehutana Republik Indonesia Nomor: SK. 328/Menhut-II/2009 Tentang Penetapan Daerah Aliran Sungai (DAS) Prioritas Dalam Rangka Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) Tahun 2010-2014*.

Moore, Ian D, and Gordon J Burch. 1986. "Physical Basis of the Length-slope Factor in the Universal Soil Loss Equation." *Soil Science Society of America Journal* 50(5): 1294–98.

Puslitbang Pengairan Bogor. 1985. *Puslitbang Pengairan Bogor Tabel Nilai Erodibilitas Tanah*. Bogor.

Wahyudi, S. Imam. 2002. "Pengaruh Sedimentasi Terhadap Kapasitas Dan Operasional Waduk: Studi Kasus Waduk Cacaban." *Jurnal Unimus*.

Wischmeier, W.H., and D.D. Smith. 1978. *Agriculture handbook no. 537 Predicting Rainfall Erosion Losses*. HyattsvilleYATTSVILLE: Science and Education Administration United States Department of Agriculture in cooperation with Purdue Agricultural Experiment Station.