

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu ekosistem yang terbentuk dari interaksi antara komponen biotis dan abiotis, yang bekerja secara terpadu membentuk satu kesatuan yang utuh. Dalam ekosistem DAS, terdapat siklus hidrologi yang berlangsung secara terus-menerus, melibatkan berbagai proses penting seperti evaporasi, transpirasi, evapotranspirasi, kondensasi, presipitasi, infiltrasi, perkolasi, dan limpasan. Proses-proses ini saling berhubungan dan dipengaruhi oleh berbagai parameter, termasuk morfometri, topografi, hidrologi, geologi, jenis tanah, vegetasi, tata guna lahan dan manusia. (Hermawan et al., 2019). Menurut Asdak, (2018). DAS terdiri atas 3 bagian wilayah, yaitu daerah hulu, tengah dan hilir. Bagian hulu DAS yang merupakan daerah konservasi, memiliki kerapatan drainase yang lebih tinggi, dengan kemiringan lereng besar (lebih dari 15%), dan dalam keadaan normal umumnya masih berpenutupan hutan. Bagian hulu DAS merupakan bagian yang terpenting karena mempunyai fungsi perlindungan terhadap seluruh wilayah DAS. Selanjutnya dikemukakan bahwa bagian tengah DAS memiliki fungsi pengelolaan air sungai untuk dapat memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi, antara lain dapat terindikasi melalui ketinggian curah hujan, kuantitas dan kualitas air, kemampuan menyimpan dan menyalurkan air, ketinggian muka air tanah, serta ketersediaan prasarana pengairan seperti pengelolaan sungai, waduk, dan danau. Bagian hilir DAS memiliki fungsi pemanfaatan air sungai untuk kepentingan sosial dan ekonomi, yang dapat terindikasi melalui kuantitas dan kualitas air, kemampuan menyalurkan air, dan pemenuhan kebutuhan pertanian, industri, dan air bersih, serta pengelolaan air limbah. Jika dikelola dan didayagunakan dengan baik, dengan memperhatikan fungsi dari masing-masing bagian, maka keseluruhan wilayah dari suatu DAS akan memberikan manfaat yang optimum secara berkelanjutan (Sucipto, 2008) Pengelolaan DAS yang baik, dapat dimaknai sebagai upaya pendayagunaan setiap bagian wilayah DAS sesuai dengan fungsi dan daya dukungnya masing-masing, antara lain dengan sebisa mungkin mempertahankan wilayah DAS pada tingkat penutupan vegetasi yang tingkat optimum.

Kegagalan dalam mengelola DAS, berpotensi menyebabkan terganggunya fungsi ekosistem DAS dan terganggunya sistem hidrologi, yakni antara lain berupa terjadinya penurunan potensi penangkapan air hujan, serta penurunan tingkat peresapan (infiltrasi) dan penyimpanan air hujan, dan sebaliknya menyebabkan terjadinya limpasan permukaan (run off) yang tinggi, pada musim hujan. Limpasan yang tinggi, akan menyebabkan terjadinya erosi di sepanjang lereng ataupun permukaan tanah yang dilaluinya, dan pada gilirannya akan mengalir masuk ke badan sungai membawa bahan-bahan sedimen hasil erosi, dan pada tingkat tertentu akan meluap, yaitu ketika badan sungai tidak bisa lagi menampungnya, dan terjadilah peristiwa banjir yang tidak jarang menelan banyak korban. Dengan kata

lain, kegagalan dalam mengelola DAS akan menyebabkan kerusakan ekosistem DAS yang sekaligus bermakna perubahan karakteristik atau perilaku hidrologi pada wilayah DAS, yang nampak melalui terjadinya fluktuasi debit sungai yang ekstrim, dimana debit pada musim hujan dan musim kemarau sangat berbeda, yaitu pada musim hujan terjadi banjir yang tidak jarang menjadi bencana dan sebaliknya pada musim kemarau terjadi kekeringan yang berkepanjangan. Mawardi (2010) mengemukakan bahwa adanya perubahan perilaku hidrologi, seperti tingginya frekuensi kejadian banjir (puncak aliran) dan meningkatnya proses erosi dan sedimentasi serta menurunnya kualitas air, merupakan indikator dari kerusakan ekosistem DAS.

Kerusakan Ekosistem DAS, terutama disebabkan oleh penggunaan lahan yang tidak terkontrol atau tidak memperhatikan fungsi dan daya dukung dari masing-masing bagian wilayah DAS, dan tidak sejalan dengan Tata Guna Lahan yang ada. Hal ini mengubah lahan-lahan yang semula berpenutupan komunitas vegetasi yang didominasi oleh pepohonan (deforestasi), menjadi lahan-lahan yang tidak lagi berpenutupan hutan seperti lahan pertanian, kebun dan bahkan pemukiman. Laju perubahan penutupan lahan ini terutama disebabkan oleh tingkat pertumbuhan penduduk yang diikuti oleh peningkatan kebutuhan lahan. Kondisi ini sejalan dengan pernyataan Dwiprabowo et al. (2014), yaitu bahwa kebutuhan lahan cenderung terus meningkat sebagai salah satu dampak dari pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk. Kondisi ini selanjutnya berpotensi mendorong terjadinya persaingan penggunaan lahan sebagai manifestasi dari hukum permintaan dan penawaran, yang pada gilirannya dapat berkonsekuensi pada percepatan terjadinya perubahan penutupan lahan.

Deforestasi yang berkonsekuensi pada perubahan penutupan lahan hutan sudah merupakan fenomena global. Sejalan dengan itu, Sitorus et.al. (2022) menyatakan bahwa kajian terkait dengan penggunaan lahan berkembang sangat cepat dan dilakukan dengan berbagai pendekatan. Menurut Anugrah dan Arief (2023), laju deforestasi di Indonesia, tercatat sebesar 0,48% per tahun dari total luas hutan Indonesia. (dalam periode 2013 sampai 2022). Khusus untuk Sulawesi Tenggara tercatat sebesar 0,85% per tahun (Rijal et, al 2019).

Keberadaan DAS Tiworo, yang berada dalam wilayah Kabupaten Muna dan Kabupaten Muna Barat, Provinsi Sulawesi Tenggara, juga tak luput dari ancaman deforestasi, dan kondisinya saat ini diperhadapkan dengan berbagai ancaman kerusakan sumberdaya lahan dan air. Hal ini diakibatkan oleh aktivitas masyarakat yang hampir seluruhnya menggantungkan hidupnya pada sektor pertanian yang diikuti dengan semakin meningkatkan luasan pembukaan lahan hutan untuk menjadi lahan pertanian. Pada Tahun 2012 tercatat bahwa dari total luas DAS Tiworo yakni 25.445,84 Ha, hanya 6.252,19 ha (24,57%) diantaranya yang berpenutupan hutan sekunder. Luas bagian DAS yang berpenutupan hutan sekunder ini mengalami penurunan tahun pada 2017, menjadi hanya 3.960,03 ha (15,56%). Sebaliknya, penutupan semak belukar yang hanya 391,57 ha (1,54%) pada tahun 2012

mengalami peningkatan yang sangat signifikan menjadi 18.619,53 (7,32%) pada tahun 2022.

Perubahan penutupan lahan tersebut di atas akan berimplikasi pada terjadinya perubahan karakteristik hidrologi DAS Tiworo, antara lain seperti limpasan permukaan, aliran lateral, hasil air, aliran bawah tanah dan erosi. Untuk kepentingan pengelolaan DAS Tiworo ke depan perlu dilakukan penggambaran keterkaitan antara limpasan, dan erosi dengan faktor-faktor ekosistem DAS (iklim, tanah, tutupan lahan), dan pengolahan lahan serta karakteristik DAS. Penggambaran tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan Salah satu metode yang efektif untuk menganalisis kondisi hidrologi adalah model SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Model ini dikembangkan untuk memprediksi pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap hidrologi dan kualitas air dalam jangka panjang (Neitsch et al., 2011; Arnold et al., 2012). Pemodelan SWAT dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai produksi air, erosi, dan dampak perubahan lahan terhadap DAS. Model SWAT (Soil and Water Assesment Tool), yang merupakan model untuk memperkirakan efek dari suatu keputusan terhadap aliran air dan sedimen pada aliran sungai (Christanto, dkk., 2018). SWAT dapat digunakan untuk menganalisis aliran sungai secara spasial berbasis Sub-DAS atau Hydrolic Response Unit (HRU). Proses Running SWAT untuk penggunaannya sebagai Model Hidrologi dalam pengelolaan DAS, dilakukan melalui 3 tahapan yaitu : Pembuatan batas DAS dan Sub DAS, pembentukan HRU, serta tahap pengaturan dan pengoperasian (Perdirjen BPDASSPS No.P2/V-SET/2015. Melalui tahapan-tahapan ini, diharapkan dapat disusun Arahan konservasi dan pencegahan erosi dan sedimentasi pada DAS Tiworo, setelah terlebih dahulu mengetahui perubahan penutupan serta pengaruhnya terhadap karakteristik hidrologi di DAS Tiworo.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang maka rumusan masalah yang perlu dijawab pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana Perubahan Penutupan Lahan dan Pengaruhnya Terhadap Karakteristik Hidrologis Pada Wilayah DAS Tiworo ?
2. Bagaimana Arahan Konserservasi Untuk Pencegahan Limpasan Permukaan dan Erosi Pada Wilayah DAS Tiworo Secara Optimal?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah untuk :

1. mengetahui tingkat Perubahan penutupan lahan, dan pengaruhnya terhadap karakteristik hidrologi pada wilayah DAS Tiworo.
2. membuat arahan konservasi untuk pencegahan limpasan permukaan dan erosi pada wilayah DAS Tiworo yang mendukung pengelolaan DAS Tiworo secara lebih optimal.

1.4. Kegunaan Penelitian

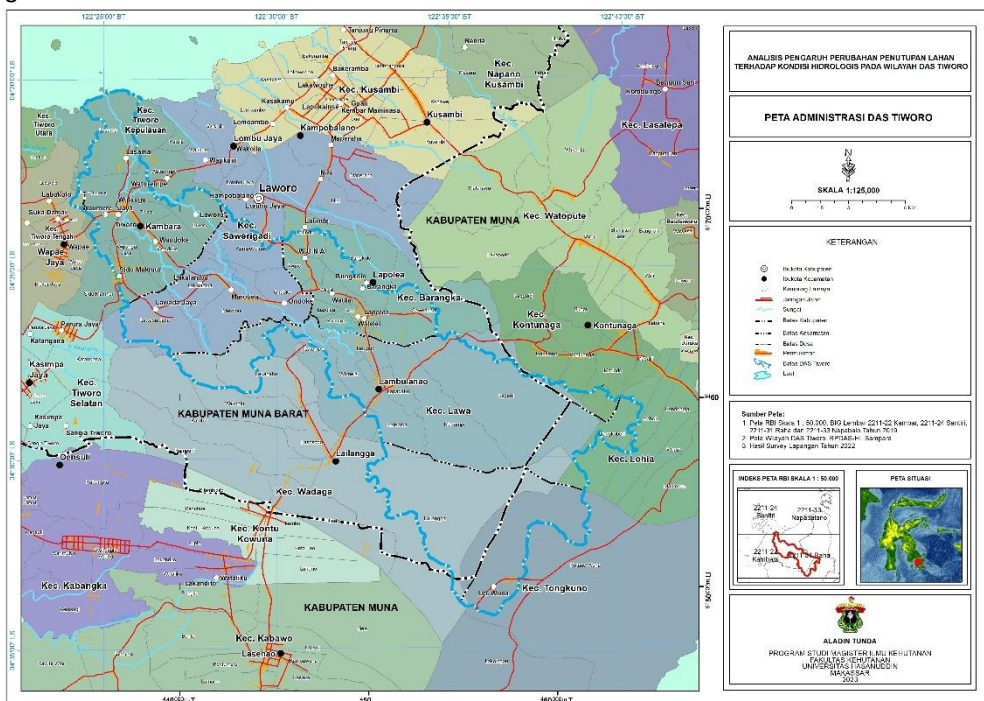
Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumbangan pemikiran bagi perkembangan dunia akademik dan ilmu pengetahuan pada umumnya. Adanya dokumen serta informasi berupa peta hasil analisis perubahan tutupan lahan serta desain model dan arahan pengelolaan lahan pada wilayah DAS Tiworo, diharapkan dapat menjadi bahan masukan bagi pemerintah daerah, dalam merencanakan pengelolaan DAS Tiworo yang selaras dengan perkembangan IPTEKS.

BAB II

METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada wilayah DAS Tiworo, yang secara geografis terletak pada garis lintang $4^{\circ} 45' 38,18''$ sampai dengan $4^{\circ} 58' 18,28''$ Lintang Selatan (LS) dan $122^{\circ} 46' 8,67''$ Timur (BT). Secara administrasi wilayah DAS Tiworo berada di wilayah Kabupaten Muna Barat yang bersentuhan langsung dengan 3 kecamatan yaitu: Kecamatan Lawa, Tikep, dan Kusambi. Penelitian ini dilaksanakan pada tahun 2022 sampai 2023. Lokasi penelitian disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Peta Adminitrasi Penelitian

3.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk pengumpulan data adalah Receiver GPS, Kamera, Alat Tulis Menulis, dan Laptop dengan menggunakan aplikasi *Microsoft Office 2019*, *open sources software ArcGIS 10.8*. SR, untuk pengolahan, manipulasi, overlay, klasifikasi dan analisis. model menggunakan Soiid dan Water Assesment Tools (SWAT).

Bahan yang digunakan untuk pengumpulan data Iklim meliputi, Data curah hujan, tempratur, radiasi matahari, kelembapan, kecepatan angin daerah sungai

penelitian, Peta Tutupan Lahan DAS Tiworo, Peta jenis tanah, peta administrasi, Peta kemiringan lereng dan peta batas daerah aliran sungai (DAS) Tiworo.

Data penelitian ini dibedakan berdasarkan sumbernya yang terdiri dari data primer dan data sekunder. Data Primer merupakan data yang diperoleh melalui : (1) Data DEM yang diolah secara interpolation Topo to *Raster* dari data kontur, sungai dan batas DAS (2) Kegiatan interpretasi citra satelit untuk mendasari pembuatan peta penutupan lahan, dan (Pengamatan langsung di lapangan menyangkut penggunaan lahan yang dipilih secara *purposive* berdasarkan aksesibilitas.

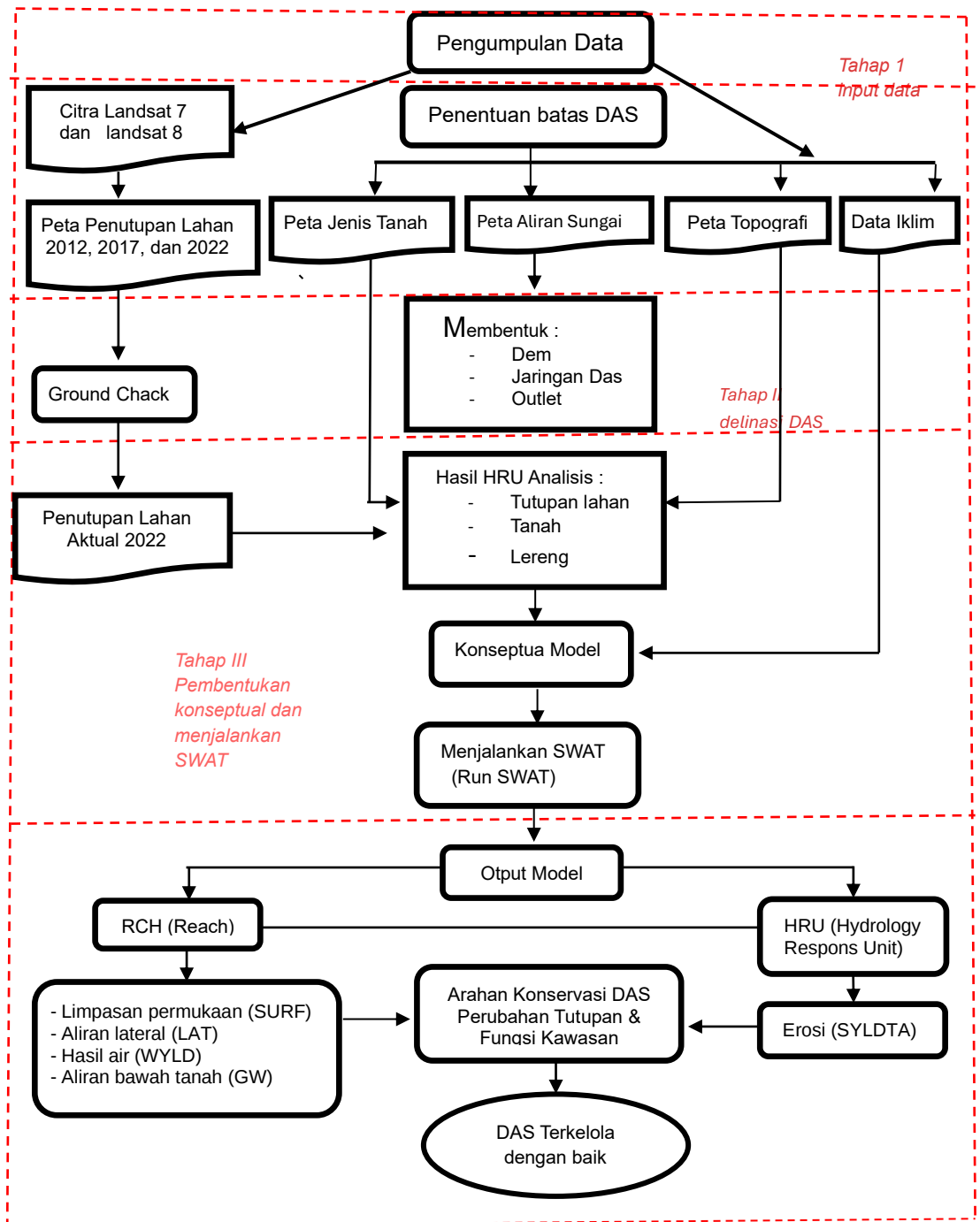
Data sekunder menyangkut keadaan umum lokasi penelitian yang diperoleh dari beberapa sumber. Adapun data tersebut antara lain meliputi data spasial administrasi, Rupa Bumi Indonesia, jenis tanah, data iklim bulanan tahun 2011-2021 serta data bulanan curah hujan dan suhu bulanan maksimum dan minimum tahun 2011-2021. Adapun daftar data spasial, sumber, dan skala disajikan sebagai berikut:

- a. Penentuan batas penelitian Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.304 Tahun 2018 tentang Penetapan Peta Daerah Aliran Sungai
- b. Aster DEM 30 M (*Digital Elavation Model*) dengan resolusi 30 x 30 m, tahun 2022 sumber data Badan Informasi Geospasial.
- c. Peta DAS Tiworo tahun 2012 sampai 2022 di peroleh dari BPDASHL Sampara
- d. Peta Tutupan lahan: Data ini diperoleh berdasarkan Citra Landsat 7 tahun 2012 dan citra landsat 8 tahun 2017 dan 2022 Setelah interpretasi, dilakukan survey lapangan (*ground check*) yakni pendetaialan tutupan lahan ke penggunaan lahan. Pada tahap ini masing-masing jenis tutupan lahan yang akan dilakukan pengecekan lapangan dipilih berdasarkan asas keterwakilan dan keterjangkauan lokasi survey.
- e. Kelerengan: yakni data yang diperoleh dari data DEMNAS dengan tingkat resolusi 30 Meter.
- f. Peta Jenis Tanah skala 1 : 2.500.000 yakni data yang diperoleh dari RePPProt 1987
- g. Data Curah Hujan dan temperatur DAS Tiworo tahun 2017 sampai 2022 di peroleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Kendari (BWS IV Kendari)
- h. Data Iklim terdiri dari: suhu udara, kelembapan, kecepatan angin dan radiasi matahari tahun 2017 s.d 2022, sumber data BMKG Ranomeeto, dan Satelit MERRA-II NASA yang dapat diakses melalui website <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer>

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari interpretasi citra landsat 7ETM+ untuk tahun 2012, 2017 dan citra landsat 8 untuk tahun 2022, serta mengetahui perubahan lahan di DAS Tiworo, analisis Laju erosi dan sedimentasi dengan menggunakan pemodelan *Soil Water Assesment Tool* (SWAT) yang mampu menggambarkan serta memprediksi fenomena dan karakteristik hidrologi DAS dengan memperhatikan aspek iklim, tanah, lereng, dan tutupan lahan

Analisis SWAT dilakukan untuk menghasilkan data debit. Data-data yang dikumpulkan seperti data penutupan lahan, kelerengan, jenis dan sifat fisik-kimia tanah serta data iklim dianalisis pada model SWAT. Tahapan yang dilalui untuk menghasilkan data debit pada model SWAT yaitu deliniasi batas DAS, pembuatan HRU (*Hydrologic Response Unit*), input data pembangkit iklim, dan simulasi model SWAT. Penggunaan Model SWAT juga untuk menduga dampak perubahan penggunaan lahan terhadap respons hidrologi. Tahapan dalam simulasi model SWAT tersebut meliputi tiga tahapan kerja yaitu (1) input parameter yaitu proses pembentukan/analisis HRU, penggabungan HRU dengan data iklim, (2) proses *running* model yaitu simulasi model SWAT, dan (3) pendefinisian *output* simulasi model dalam hal ini adalah debit sungai. Tahapan-tahapan pengolahan dan analisis data dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian Analisis Pengaruh Perubahan Penutupan Lahan Terhadap Kondisi Hidrologis Pada Wilayah DAS Tiworo

3.2.1. Persiapan dan Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder. Data primer meliputi data *digital elevation model* (DEM) yang diperoleh dari hasil analisis *topo to raster*, data batas lokasi penelitian dari hasil deliniasi batas DAS pada SWAT dan data penutupan lahan yang diperoleh secara langsung melalui kegiatan interpretasi citra satelit. Pengecekan data penutupan lahan di lapangan dilakukan dengan menyesuaikan klasifikasi penutupan lahan di lapangan dengan hasil interpretasi citra secara *purposive sampling* berdasarkan aksesibilitas. Data sekunder adalah data yang meliputi keadaan umum lokasi penelitian yang diperoleh dari studi literatur maupun data-data lain terkait penelitian. Data sekunder tersebut meliputi peta batas das, peta jaringan jalan administrasi, Rupa Bumi Indonesia, jenis tanah, data iklim bulanan tahun 2017-2022 serta data bulanan curah hujan dan suhu bulanan maksimum dan minimum tahun 2017-2022.

3.2.2. Pembuatan Data Digital Elevation Model (DEM)

Data digital elevation model (DEM) diperoleh dengan analisis *topo to raster* atau melakukan interpolasi secara hidrologi menggunakan data input kontur 10 m, jaringan sungai, dan batas DAS dengan output yang dihasilkan berupa data raster 30 m.

3.2.3. Penentuan Batas Lokasi Penelitian

Penentuan batas lokasi penelitian diperoleh dari batas DAS yang dibuat dari hasil ekstraksi data DEM 30 m pada SWAT yang penentuan batasnya dengan melihat outlet DAS.

3.2.4. Deliniasi Batas DAS

Deliniasi batas DAS sangat perlu untuk dilakukan agar lebih mudah dalam mengetahui DAS yang akan dianalisis nantinya. Adapun cara yang dilakukan dengan menggunakan menu Watershed Deliniator pada model SWAT. Dalam membuat deliniasi DAS terdapat beberapa tahapan yang dilakukan yaitu pemasukan data DEM yang telah dibuat sebelumnya, penentuan jaringan sungai (*stream definition*, penentuan outlet (*outlet definition*, seleksi dan penentuan outlet DA (*Watershed selection and definition*), dan perhitungan parameter Sub DAS (*calculate subbasin parameter*)

3.2.5. Interpretasi Citra

Penutupan lahan diperoleh dari data citra satelit berupa citra landsat. Citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini yaitu citra landsat 7 ETM+ untuk perekaman tahun 2012 dan Citra Landsat 8 untuk tahun 2017 dan tahun 2022 dengan Path 114 dan Row 63 dengan resolusi 10 meter. Proses tahap awal interpretasi citra dilakukan dengan penggunaan tools *composite band* (Pita Warna), dalam artian penggabungan kanal-kanal yang ada di citra. Setelah melakukan penggabungan band, langkah selanjutnya yaitu melakukan digitasi on the screen dengan metode

deliniasi visual. Penentuan kelas penutupan lahan ditetapkan berdasarkan pola dan karakteristik yaitu rona, warna dan tekstur pada citra. Selain itu, kelas penutupan lahan ini juga diperoleh dengan memperbaharui data penutupan lahan Dirjen Planologi dan tata lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

3.2.6. Penetapan Lokasi Pengecekan Lapangan

Pengecekan lapangan (ground check) bertujuan untuk melakukan koreksi terhadap hasil interpretasi penutupan lahan melalui pengamatan kondisi penutupan lahan sebenarnya di lapangan. Penetapan lokasi pengecekan lapangan dilakukan melalui penandaan pada peta penutupan lahan dengan menggunakan teknik purposive sampling, yaitu memilih lokasi yang dijadikan sebagai titik sampling yang mewakili setiap bentuk penutupan lahan yang ada. Penetapan lokasi pengecekan lapangan dilakukan dengan mempertimbangkan faktor kemudahan aksesibilitas dari setiap penutupan lahan yang dipilih. (Juwairiah, 2009)

3.2.7. Perhitungan Akurasi Klasifikasi Citra

Uji akurasi dimaksudkan untuk mempengaruhi besarnya kepercayaan pengguna terhadap setiap jenis data maupun metode analisisnya (Purwadhi, 2006). Perkembangan pengujian akurasi selalu dilakukan dengan menggunakan metode yang lebih lengkap dan modern. Akurasi sering dianalisis menggunakan matrik kontingensi, matrik ini sering juga disebut "*error matrix*/ matrik kesalahan", dimana pengujian dilakukan menggunakan "*error matrix*" atau yang sering juga disebut dengan matrik kontingensi (*contingency matrix*) atau matrik konfusi (*confusion matrix*) (Jaya, 2010).

Data referensi adalah sejumlah piksel pada citra yang telah diidentifikasi sebelumnya melalui kegiatan pengecekan lapangan atau interpretasi foto dan diasumsikan benar. Matrik kesalahan sangat efektif untuk mengetahui tingkat akurasi citra hasil klasifikasi beserta kesalahan yang terjadi dalam tahapan klasifikasi. Akurasi ini biasanya diukur berdasarkan pembagian piksel yang dikelaskan secara benar dengan total piksel yang digunakan (jumlah piksel yang terdapat di dalam diagonal matrik dengan jumlah seluruh piksel yang digunakan). Secara matematik, akurasi Kappa dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Akurasi Kappa} = \frac{\sum_i X_{ii} - \sum_i X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_i X_{i+} X_{+i}} 100\%$$

Keterangan:

- X_{ii} = Nilai diagonal dari matrik kontingensi baris ke-i dan kolom ke-i
- X_{+i} = Jumlah piksel dalam kolom ke-i
- X_{i+} = Jumlah piksel dalam baris ke-i
- N = Banyaknya piksel

Perhitungan akurasi dengan menggunakan matrik kontingensi ini juga dapat menghitung besarnya akurasi pembuat (*producer's accuracy*) dan akurasi pengguna

(*user's accuracy*). Secara sistematis skema perhitungan akurasi (pengguna, pembuat dan umum) adalah disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Matrik Kesalahan (*Confusion Matrix/Error Matrix*)

Kelas Referensi	Dikelaskan kekelas		Jumlah Pixel		Akurasi Pembuat
A	B		C		Total Piksel
A	X11	X12	X13	X1+	X11/X1+
B	X21	X22	X23	X2+	X22/X2+
C	X31	X32	X33	X3+	X33/X3+
.....					
Total	X+1	X+2	X+3		N
Akurasi Pengguna	X11/X+1		X22/X+2		X33/X+3

Sumber: (Jaya, 2010)

3.2.8. Faktor Pendorong Perubahan Penutupan Lahan

Faktor pendorong adalah variabel independen dalam membangun model probabilitas transisi, dalam penelitian sebelumnya faktor pendorong yang digunakan adalah faktor-faktor eksisting yang akan menyebabkan perubahan penutupan lahan, dalam hal ini adalah faktor jarak lahan eksisting terhadap tata guna lahan di sekitarnya (Fariz dkk., 2020). Jarak merupakan faktor yang berpengaruh dalam suatu dinamika keruangan, termasuk perubahan tutupan lahan.

3.3. Analisis Data

3.3.1. Analisis Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Karakteristik Hidrologi dan Erosi

Proses Analisis penggunaan lahan pada periode tahun 2012 menghasilkan kondisi hidrologi pada periode penggunaan lahan tahun 2012. Demikian juga kondisi hidrologi tahun 2022 pada penggunaan lahan tahun 2022 akan menghasilkan kondisi hidrologi tertentu juga. Masukan curah hujan yang sama, nantinya akan menghasilkan data kondisi berbeda antara tahun 2012 dan tahun 2022. Namun jika membandingkan pengaruh perubahan penggunaan lahannya maka imputnya harus sama terutama hujan, yang membedakan adalah penggunaan lahannya yaitu penggunaan lahan tahun 2012 dan penggunaan lahan tahun 2022.

Analisis yang dapat dilakukan untuk menggambarkan kondisi hidrologi DAS adalah dengan mengandaikan proses transformasi yang terjadi mengikuti suatu aturan tertentu dimana harus dapat menggambarkan kondisi biofisik DAS dalam proses transformasi yang disusun dalam sebuah model hidrologi (Harto, 2000). Siklus hidrologi sebagaimana yang disimulasikan oleh SWAT didasarkan pada persamaan keseimbangan air (Neitsch, dkk. 2012).

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - Ea - w_{seep} - Q_{gw}) \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

SWt	:	Kadar air tanah akhir (mm H ₂ O)
SW0	:	Kadar air tanah awal pada hari ke-i (mm H ₂ O)
t	:	Waktu (hari)
Rday	:	Jumlah hujan pada hari ke-i (mm H ₂ O),
Qsurf	:	Jumlah aliran permukaan pada hari ke-i (mm H ₂ O)
Ea	:	Evapotranspirasi pada hari ke-i (mm H ₂ O)
Wseep	:	jumlah air yang masuk zona vadose dari profil tanah (seepage) pada hari ke-i (mm H ₂ O)
Qgw	:	aliran air bawah tanah (baseflow/groundwaterflow /returnflow) pada hari ke-i (mm H ₂ O).

Dalam permodelan Soil and water Asesment Tools (SWAT) Tahapan kegiatan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1). Data Digital Elevation Model (DEM)

Data DEM digunakan untuk memastikan struktur jaringan sungai terkoneksi dan ruas sungai serta anak-anak sungai tergambar dengan baik sesuai kondisi sebenarnya dalam pembuatan batas DAS dan sub-sub DAS. Selain itu data DEM digunakan untuk mendapatkan data kelerengan sebagai salah satu data *input* dalam menjalankan analisis SWAT dengan klasifikasi kelas lereng yang digunakan yaitu 0-8% (datar), 8-15% (landai), 15-25% (agak curam), 25-45% (curam) , dan >45% (sangat curam).

2). Delineasi Batas DAS

Pembuatan deliniasi DAS melalui beberapa tahapan yang dilakukan yaitu pemasukan data DEM yang telah dibuat sebelumnya, penentuan jaringan sungai (stream definition), pembuatan outlet (outlet definition), seleksi dan penentuan outlet DAS (Watershed outlet selection and definition), dan penghitungan parameter sub-DAS (calculate Sub-basin parameter).

3). Data Penutupan Lahan

Data penutupan lahan DAS Tiworo Tahun 2022 diperoleh dari hasil interpretasi citra landsat 8 Path 114 Row 62 Tahun 2021 data penutupan lahan yang tersedia kemudian diubah database penamaan penutupan Kelas tutupan lahan dalam penelitian ini telah disesuaikan dengan kebutuhan masukan model SWAT. Klasifikasi penamaan penutupan lahan untuk model SWAT. (Neitsch et al., 2012).

Tabel 2. Klasifikasi Penamaan Penutupan Lahan untuk Model SWAT

NO	Penutupan Lahan	SWAT Landuse	Kode SWAT
1	Hutan Lahan Kering Sekunder	Forest-Mixed	FRST
2	Hutan Mangrove Sekunder	Wetlands-Forested	WETF
3	Pemukiman	Residential	URBN
4	Perkebunan	Orchard	ORCD
5	Pertanian Lahan Kering Campur	Agricultural Land-Generic	AGRL
6	Sawah	Rice	RICE
7	Semak/Belukar	Range-Brush	RNGB
8	Tambak	Wetlands-Non-Forested	WETN
9	Tubuh Air	Water	WATR

4). Data Jenis Tanah

Data jenis tanah diperoleh dari data sistem lahan (landsystem) Regional Physical Planning Programme for Transmigration (RePPPProt) Badan Kordinasi Survey dan Pemetaan Nasional Tahun 1987. Kebutuhan input data tanah dalam model SWAT adalah data tanah berupa jenis tanah serta parameter fisik dan kimia tanah. Sehingga untuk memenuhi kebutuhan input parameter SWAT dilakukan analisis untuk memperoleh input parameter data tanah. Analisis pendekatan yang digunakan adalah dengan mengekstraksi informasi tanah dari peta RePPPProt yang dikombinasikan dengan informasi dari Web Soil USDA Natural Resource Conservation Service. (Neitsch et al., 2012)

5). Data Iklim

Data iklim yang dibutuhkan berupa data (curah hujan, temperatur, radiasi matahari, kelembaban udara, dan kecepatan angin) data curah hujan diperoleh dari Balai wilayah Sungai IV Kendari (BWS), data temperatur dan kecepatan angin di peroleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika Ranomeeto Kendari (BMKG), dan data Kelembapan udara dan dan radiasi matahari di peroleh dari Satelit MERRA-II NASA yang dapat diakses melalui website <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> Data iklim yang merupakan perhitungan harian mulai Tahun 2017-2022.

6). Pembentukan HRU (*Hydrological Response Unit*)

Hydrological Response Unit atau disingkat HRU merupakan unit terkecil dalam skala analisis yang dilakukan pada pemodelan SWAT. Pembentukan HRU dilakukan dengan overlay peta penutupan lahan, peta jenis tanah, dan data kemiringan lereng. Setiap HRU yang terbentuk berisi informasi spesifik mengenai lahan tersebut yang mencakup penutupan lahan, jenis tanah, dan kemiringan lereng. Data penutupan lahan dan jenis tanah yang digunakan dalam analisis HRU berformat raster ESRI sedangkan klasifikasi kelas lereng berasal dari dataset DEM yang digunakan untuk mendelineasi batas DAS.

7). Penggabungan Hydrological Response Unit dengan Data Iklim

Penggabungan HRU dan data iklim dilakukan setelah satu analisis terbentuk. Pada tahap ini dilakukan pemanggilan file WGN (Weather Generator Data) yang telah diatur sebelumnya. Data series curah hujan (mm), temperature udara (°C), radiasi matahari (MJ/m2/hari), kelembaban udara (%), dan kecepatan angin (m/dtk). Data-data tersebut dikumpulkan kedalam file PCP untuk curah hujan, TMP untuk temperatur, SOLAR untuk radiasi matahari, RH untuk kelembaban udara, dan WIND untuk kecepatan angin dengan ekstensi .txt.

8). Simulasi Model Soil and Water Assesment Tool

Simulasi model SWAT dilakukan setelah proses penggabungan HRU dengan data iklim selesai. Proses simulasi dijalankan berdasarkan periode bulanan. Model SWAT dapat dijalankan pada menu SWAT Simulation dengan syarat tahapan Watershed Delineation, HRU Analysis, dan Write Input Tables telah selesai dengan baik. Simulasi model SWAT menghasilkan output aliran permukaan (Q_{surf}) yang diprediksi menggunakan SCS curve number yang dimodifikasi (Neitsch et al., 2012).:

$$Q_{surf} = \frac{(Rday - Ia)^2}{(Rday - Ia) + S} \dots\dots\dots(2)$$

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

- Q_{surf} : Jumlah aliran permukaan pada hari ke-i (mm)
- $Rday$: Jumlah curah hujan pada hari ke-i (mm),
- Ia : Kehilangan awal akibat simpanan permukaan, intersepsi dan infiltrasi (mm)
- S : Parameter retensi (mm)
- CN : Curve Number

Jumlah aliran lateral (Q_{lat}) yang dilepaskan ke saluran utama berdasarkan simulasi SWAT dapat dilihat dengan persamaan (Neitsch et al., 2012) :

$$Q_{lat} = (Q_{lat} + Q_{latstor, i-1}) \left(1 - \exp \left[\frac{-1}{TTlag} \right] \right) \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

- Q_{lat} : Jumlah aliran lateral yang dialirkan ke saluran utama pada hari tertentu (mm H₂O)
- Q_{lat} : Jumlah aliran lateral yang dihasilkan di sub-cekungan pada hari tertentu
- $Q_{latstor, i-1}$: Aliran lateral disimpan atau tertinggal dari hari sebelumnya (mm H₂O)

TTlag : Waktu tempuh aliran lateral (hari)

Aliran air tanah (Q_{gw}), atau aliran dasar, yang berkontribusi ke saluran utama berdasarkan simulasi SWAT dapat di hitung dengan persamaan (Neitsch et al.,2012):

$$Q_{gw} = \frac{8000 \cdot K_{sat}}{L_{gw}^2} \cdot h_{wtbl} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

Q_{gw} : Jumlah air yang mengalir di equifer yang berkontribusi terhadap debit sungai (mm H₂O)

K_{sat} ; Konduktivitas hidrolik dari akuifer (mm / hari)

L_{gw2} : Jarak dari punggung atau sub-cekungan bagi air tanah sistem ke saluran utama (m)

h_{wtbl} : Ketinggian permukaan air (m).

Setelah tahapan simulasi telah dilakukan dengan menggunakan proses Running SWAT, tahapan selanjutnya ialah menampilkan hasil output dari simulasi. Proses tersebut dilakukan dengan menggunakan sub menu Read SWAT Output. Hasil output dari simulasi kemudian disimpan untuk keperluan analisis berikutnya. Dalam model SWAT ketersediaan air diistilahkan dengan water yield (hasil air) yang diperoleh pada masing-masing subdas dengan satuan mm. Water yield diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan rumus berikut (Neitsch et al.,2012) :

$$WYLD = SURQ + LATQ + GWQ - TLOSS - pond\ abstractions \dots \dots \dots (6)$$

Dimana :

WYLD = Jumlah air efektif yang tersedia dalam suatu DAS (mm)

SURQ = Jumlah aliran permukaan yang mencapai sungai utama (mm)

LATQ = Jumlah air yang mengalir secara lateral dibawah permukaan yang berkontribusi terhadap debit sungai (mm)

GWQ = Jumlah air yang mengalir di aquifer yang berkontribusi terhadap debit sungai (mm)

TLOSS = Total kehilangan air ke aquifer (mm)

9). Pendefenisian Output SWAT

Data keluaran model SWAT berupa informasi pada masing-masing HRU, Sub DAS maupun Sungai memberikan informasi keluaran model. Informasi yang terdapat di masing-masing Sub DAS dan HRU dihasilkan selama periode simulasi terdiri dari evapotranspirasi potensial dan aktual, kandungan air tanah, perkolasi, aliran permukaan, aliran lateral, aliran dasar dan hasil air (Neitsch et al. 2012). Sedangkan informasi pada tingkat sungai adalah aliaran masuk dan aliran keluar. Model SWAT yang telah dijalankan menghasilkan output model diantaranya HRU (Hydrologycal Respons Unit) DAN rch (Reach). Dari output HRU dapat dikeluarkan hasil erosi dengan kode SYLDT_ha, sedangkan untuk RCH dapat dikeluarkan hasil Limpasan dengan kode aliran permukaan (SURF),

aliran lateral (LAT), hasil air (WYLD) dan aliran bawah tanah (GW). Hasil ini kemudian digunakan untuk menganalisis kondisi Hidrologi DAS Tiworo secara deskriptif Kuantitatif. Variable output di outlet sungai disajikan pada Tabel 3 :

Tabel 3. Variabel Output SWAT pada Subbasin

Variabel	Definisi
1	2
PRECIP	Jumlah curah hujan (mm).
PET	Evapotranspirasi potensial (mm).
ET	Evapotranspirasi aktual (mm).
SW	Kadar air tanah pada akhir periode waktu (mm).
PERC	Air yang merembes melewati zona akar (mm).
SURQ	Kontribusi aliran permukaan terhadap debit sungai (mm).
GW_Q	Air bawah tanah (mm).
WYLD	Hasil air (mm).
SYLDt	Hasil erosi (ton/ha).

10). Analisis Karakteristik Hidrologi SWAT

Analisis karakteristik hidrologi meliputi total curah hujan (PRECIP) total air sungai (WYLD), aliran permukaan (SUR_Q), aliran lateral (LAT_Q) dan aliran dasar (GW_Q). Total air sungai adalah total air yang mengalir dari setiap HRU dan masuk ke saluran utama dalam jangka waktu tertentu (Arnold et al, 2011). Aliran permukaan (SUR_Q) merupakan air limpasan yang mengalir diatas permukaan tanah dari setiap HRU. Aliran lateral (LAT_Q) merupakan air yang mengalir pada profil tanah dengan arah lateral dan masuk ke saluran utama dalam jangka waktu tertentu. Aliran dasar (GW_Q) adalah aliran aquifer dangkal dan masuk ke saluran utama dalam jangka waktu tertentu. Selain hidrologi tersebut diatas, juga dihitung debit maksimum, debit minimum dan koefisien regim aliran (run off). Hal ini untuk mengetahui fluktuasi debit yang berada di titik outlet. Nilai c atau koefisien aliran dan koefisien regim aliran merupakan salah satu indicator untuk mengetahui kondisi suatu DAS. Klasifikasi KRA sajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi Koefisien Regim Aliran (KRA)

Koefisien Rezim Aliran (KRA)	Kelas
$0 < X \leq 5$	Sangat Baik
$5 < X \leq 10$	Baik
$10 < X \leq 15$	Sedang
$15 < X \leq 20$	Agak Buruk
$X > 20$	Buruk

Sumber : Pedoman Monitoring dan Evaluasi DAS Dephut (2014)

3.3.2. Perhitungan Tingkat Erosi

Prediksi nilai erosi dan aliran permukaan, dengan menggunakan model SWAT menggunakan rumus dari *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE) yang telah dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith (1978) dari yang sebelumnya

Universal Universal Soil Loss Equation Hasil Erosi dihitung dengan persamaan :

Dimana:

$$R = a(V_Q \times Q_P)^b SY = R \times L \times LS \times CP$$

Keterangan :

SY : Jumlah Tanah tererosi (ton/tahun)

R : Aliran Permukaan

K : Faktor Erodibilitas tanah

LS : Faktor Kemiringan lereng

CP : Faktor Penggunaan lahan

V_Q : Volume aliran permukaan (m^3)

Q_P : Aliran Puncak (m^3/s)

a : 11,8

b : 0,56

Untuk menentukan arahan penggunaan lahan yang tepat, maka perlu diketahui seberapa besar erosi yang ada pada DAS Tiworo, klasifikasi Tingkat erosi disajikan pada tabel 5 berikut:

Tabel 5. Klasifikasi Tingkat Erosi

Kelas	Besarnya Erosi (Ton/ha/Tahun)	Keterangan
I	<15	Erosi Sangat Ringan (SR)
II	15 – 60	Erosi Ringan (R)
III	60 – 180	Erosi Sedang (S)
IV	180 – 480	Erosi Berat (B)
V	>480	Erosi Sangat Berat (SB)

Sumber :Departemen Kehutanan, 1998

3.3.3. Analisis Arahan Konservasi Perencanaan Pengelolaan DAS

Analisis tutupan lahan DAS Tiworo merupakan penerapan rencana pengelolaan untuk memperbaiki karakteristik DAS Tiworo. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan metode Vegetatif dan sipil teknis. Skenario ini paling memungkinkan untuk dilakukan perubahan tutupan lahan di DAS Tiworo. Skenario kondisi tutupan lahan tersebut dilakukan untuk mensimulasi karakteristik hidrologi bila metode tersebut diterapkan pada DAS Tiworo. Hasil skenario *dirunning* untuk memprediksi karakteristik hidrologinya dan erosi. Skenario ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan bagi pemerintah dalam perencanaan pengelolaan di DAS Tiworo. Penyusunan perencanaan arahan model pengelolaan DAS Tiworo dilakukan dengan menghitung nilai erosi. Untuk menghitung penilaian dampak (*impact assesment*) yaitu menggunakan peta penutupan lahan yang terbaru, dimana peta penutupan lahan di peroleh dari hasil interpretasi citra landsat 8 yang kemudian di overlay dengan peta Kawasan hutan dan peta fungsi Kawasan yang

telah di sesuaikan dengan pola ruang Kabupaten Muna dan Kabupaten Muna Barat. (Nurhawaitdah et al., 2019).

Perubahan Penutupan lahan sebagai masukan dalam model juga mempengaruhi Erosi. Perubahan Penutupan lahan nantinya di DAS Tiworo yang akan di analisis perubahan penutupan lahan yang paling berpengaruh signifikan terhadap erosi. Penentuan arahan model pengelolaan di dasarkan dengan fungsi kawasan yang ada di wilayah DAS itu sendiri yang di peroleh dari data sekunder hasil identifikasi citra satelit/citra resolusi tinggi/liputan lahan yang dilaksanakan oleh Kementerian Kehutanan/Badan Informasi Geospasial /LAPAN/ pihak lain yang sesuai dengan kewenangannya dan melakukan peninjauan lapangan. Arahan internalisasi pada Das Tiworo dengan melakukan layout peta untuk mendapatkan Kajian dampak (Impact Assesment) Erosi dan sedimentasi sehingga akan diperoleh peta Impact Assesment Erosi dan sedimentasi. (Zhang et al., 2020).

Berdasarkan besarnya laju erosi dan sedimentasi pada suatu Daerah aliran sungai maka dilakukan metode agrokoservatif untuk mengurangi dampak yang lebih besar nantinya, sehingga akan ada upaya mitigasi untuk mengurangi kejadian bencana tersebut. Klasifikasi tingkat erosi dan sedimentasi sebagai acuan untuk menentukan arahan model pengelolaan yang tepat agar dapat mengurangi terjadinya erosi dan sebagai bahan rekomendasi perencanaan pengelolaan DAS terbaik. (Li et al., 2023)