

BAB I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS) di Indonesia pada umumnya di kategorikan kritis dengan seringnya terjadi bencana di berbagai daerah seperti banjir, tanah longsor bahkan terjadinya kekeringan sehingga berdampak terhadap bertambahnya lahan kritis. Berdasarkan Keputusan Menteri Kehutanan No. SK. 328/Menhut II/2009 diketahui bahwa sebanyak 108 Daerah Aliran Sungai di golongan dalam kondisi kritis serta sebanyak 5 Daerah Aliran Sungai di Sulawesi Selatan di Kategorikan Kritis yang salah satunya Daerah Aliran Sungai Saddang oleh karena itu memerlukan prioritas penanganan. Meningkatnya luas lahan kritis di suatu Daerah Aliran Sungai di tandai dengan bertambahnya jumlah erosi pada musim penghujan sehingga berdampak pada banyaknya sedimentasi (Asdak, 2010)

Daerah Aliran Sungai Saddang merupakan Daerah Aliran Sungai terbesar di Sulawesi yang melintasi dua provinsi yaitu Provinsi Sulawesi Selatan dan Provinsi Sulawesi Barat Khususnya di Kabupaten Mamasa. Secara Geografis letak Sub DAS Saddang Hulu terletak di 02°43'57" - 3°32'18" Lintang Selatan dan 119°37'16"-120°04'35" Bujur Timur. Sub DAS Saddang Hulu juga melintasi empat kabupaten yaitu, Kabupaten Toraja Utara, Kabupaten Tana Toraja, Kabupaten Enrekang dan Kabupaten Pinrang. Selain itu Daerah Aliran Sungai Saddang Terbagi menjadi 3 Sub DAS yaitu, Sub DAS Mamasa, Sub Das Mataallo dan Sub DAS Saddang Hulu.

Semakin berkurangnya jumlah tanaman dalam suatu Daerah Aliran Sungai, maka akan lebih mempercepat terjadinya erosi karena tidak adanya tanaman untuk menahan limpasan air hujan sehingga terjadinya aliran permukaan yang berakibat pada banyak sedimentasi di sungai. Dampak dari banyaknya sedimentasi ini yang merugikan ,berakibat pada terganggunya aliran sungai berupa meningkatnya aliran permukaan dan menurunnya permukaan air tanah sehingga meluasnya lahan kedap air, akaibat dari itu semua akan ditandai dengan gejala ketika turun hujan akan mudah banjir dan ketika musim kemarau terjadi kekeringan dan pendangkalan sungai sehingga menyebabkan banjir (Zulfami, 2016).

Perubahan penutupan lahan berdampak pada perubahan siklus hidrologi serta terganggunya ekosistem di DAS Sadang Hulu akibat dari kerusakan hutan itu sendiri, sehingga terjadi bencana baik itu kekeringan, longsor dan peningkatan debit air. Hutan yang merupakan salah satu bagian dari Daerah Aliran Sungai (DAS) berfungsi sebagai pelindung mata air dan sebagai daerah resapan air. Beberapa penyebab rusaknya hutan adalah penebangan komersial, kebakaran hutan, dan pembukaan hutan untuk aktivitas usaha tani (Misnawati, 2013)

Curah hujan yang tinggi menjadi salah satu penyebab terjadinya bencana baik itu banjir maupun tanah longsor. Hal ini terjadi karena berkurangnya daerah resapan air serta terjadinya perubahan lahan yang dari hutan ke non hutan sehingga

berkurangnya infiltrasi dan besarnya aliran permukaan dan meningkatnya erosi. Semakin tinggi intensitas curah hujan, maka akan lebih mempercepat pengangkutan partikel-partikel tanah sehingga berdampak terhadap menumpuknya sedimen. Tekanan dan kekuatan dari tetesan air yang jatuh dengan kecepatan maksimal menyebabkan agregat tanah terpecah menjadi partikel yang lebih kecil. Sehingga mengakibatkan tanah lebih mudah menjadi lebih rentan terhadap erosi karena kehilangan struktur dan kepadatannya yang semula (Oktarini, 2024).

Besarnya infiltrasi dan aliran permukaan sangat dipengaruhi oleh intensitas dan lama waktu hujan. Selain itu, waktu yang diperlukan air hujan untuk mengalir ke sungai juga dipengaruhi oleh lama waktu hujan dan keadaan topografi. Berkurangnya kapasitas infiltrasi tanah yang mengalami erosi akan menyebabkan aliran permukaan (*run off*) meningkat. Peningkatan aliran permukaan dan mendangkalnya sungai mengakibatkan banjir semakin seiring dengan tingkat (derajat) yang semakin berat pada setiap musim hujan. Berkurangnya infiltrasi air ke dalam tanah yang mengalami erosi di bagian hulu DAS menyebabkan pengikisan kembali (*recharge*) air tanah (*groundwater*) juga berkurang yang mengakibatkan kekeringan di musim kemarau (Suprayogi dkk., 2015)

Perkembangan penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) sangat menunjang dalam pemodelan hidrologi untuk mensimulasikan serta salah satu cara efektif untuk mempelajari proses yang terjadi dalam DAS serta memprediksi terhadap perubahan yang terjadi dalam suatu DAS itu sendiri (Pribadi dkk., 2020). Pemodelan Hidrologi yang digunakan untuk menganalisis erosi dan sedimentasi dengan resolusi spasial menggunakan model Soil and Water Assessment Tools (SWAT). Pemodelan SWAT sangat diterapkan untuk memberikan informasi yang baik tentang kondisi DAS dan data kuantitatif debit maupun daerah tangkapan air (Rau dkk., 2015).

Dalam Proses identifikasi perubahan suatu tutupan lahan dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) diperlukan suatu data spasial yang menjadi penentu dalam proses identifikasi tersebut. Data spasial diperoleh dari pemanfaatan Penginderaan jauh untuk mengetahui penutupan lahan dalam suatu DAS, berupa citra untuk lebih mempermudah dalam identifikasi. (Nuraeni dkk., 2017). Data yang digunakan untuk memprediksi penggunaan lahan, dibangun dari data penggunaan lahan tahun sebelumnya dengan pendekatan model berbasis spasial yang cenderung memiliki sifat dinamis dalam waktu berupa pendekatan *Cellular Automata- Markov Chain* (CA). Pendekatan Cellular Automatan (CA) merupakan salah satu model yang dapat diterapkan karena memiliki sifat yang dinamis dan dapat diintegrasikan dengan model lain seperti Artificial Neural Network (ANN) dan Regresi Logistik yang berbasis statistik (Hapsary dkk., 2021).

Penutupan lahan dari masa ke masa dapat dijadikan salah satu variabel analisis yang berpengaruh untuk melihat dinamika pola erosi dan sedimentasi di waktu tersebut. Untuk penelitian ini digunakan penutupan lahan tahun 2023 dan prediksi penutupan lahan tahun 2033. Hasil dari analisis, dapat dijadikan dasar dalam upaya penataan penggunaan lahan secara proporsional, sehingga dapat membuat arahan kebijakan penggunaan lahan untuk mitigasi erosi dan sedimentasi tahun 2033 sesuai dengan

Rencana Pola Ruang Kabupaten Toraja Utara, Tana Toraja, Enrekang dan Pinrang yang masuk dalam administrasi Sub DAS Saddang Hulu.

Berdasarkan uraian diatas, Maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui dampak dari Perubahan Penutupan lahan terhadap erosi dan sedimentasi di Sub DAS Saddang Hulu .

I.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di jelaskan sebelumnya, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses terjadinya perubahan penutupan lahan di Sub DAS Saddang Hulu?
2. Bagaimana hubungan antara tutupan lahan terhadap erosi dan sedimentasi ?
3. Bagaimana Arahan Penggunaan lahan yang tepat dalam mengatasi peningkatan erosi dan sedimentasi?

I.3. Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisis perubahan tutupan lahan di Sub DAS Saddang Hulu.
2. Menganalisis hubungan antara tutupan lahan dengan peningkatan erosi dan sedimentasi di Sub DAS Saddang Hulu.
3. Menentukan arahan penggunaan lahan yang tepat untuk mengurangi peningkatan erosi dan sedimentasi.

I.4. Manfaat Penelitian

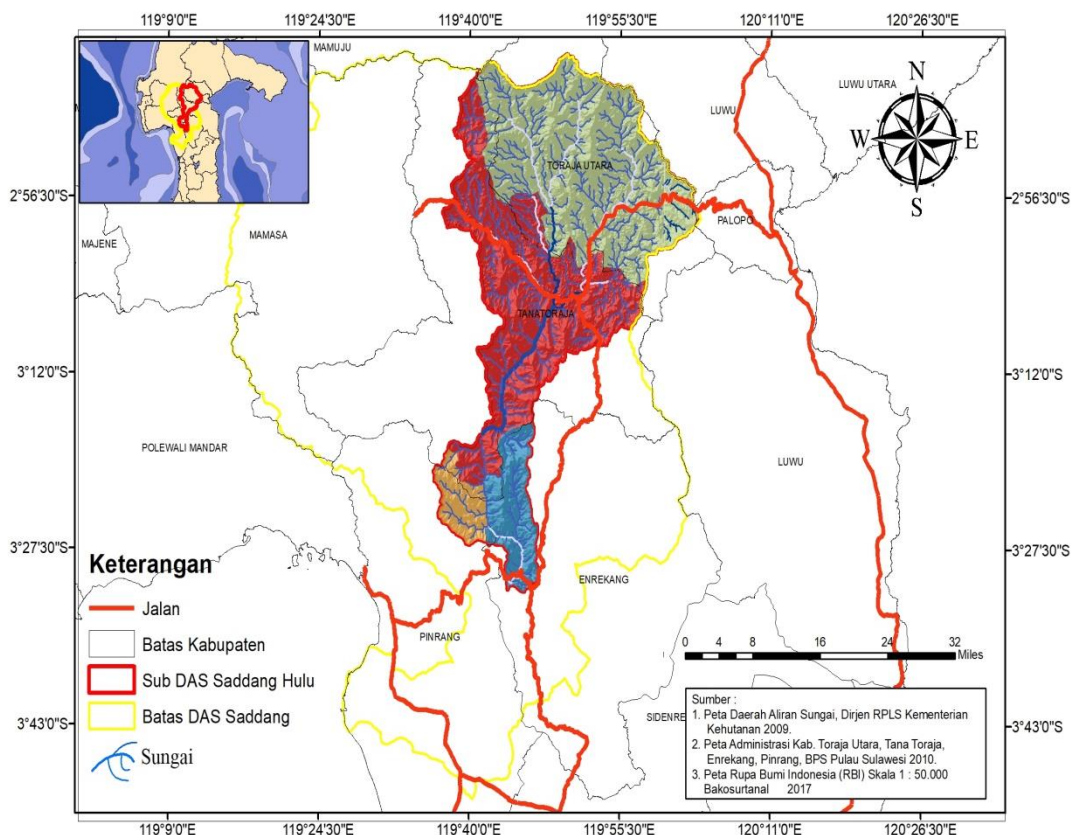
Hasil dari penelitian ini nantinya dapat menjadi bahan masukan bagi pemerintah setempat maupun masyarakat umum di sekitar Sub DAS Saddang Hulu terutam Badan Nasional Penanggulangan Bencana untuk dapat mengantisipasi terjadi erosi yang bisa berdampak ke terjadinya longsor:

1. Sebagai Sumber informasi khususnya kepada masyarakat di sekitar wilayah Sub DAS Saddang Hulu, tentang daerah rawan terjadinya erosi sehingga dapat meminimalisir terjadinya tanah longsor serta jumlah korban.
2. Sebagai referensi bagi para peneliti selanjutnya tentang kegiatan perencanaan pengelolaan DAS serta sebagai dasar bagi pemerintah setempat untuk perumusan serta mengambil kebijakan dalam pembuatan tata ruang wilayah

BAB II. METODE PENELITIAN

II.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini menggunakan metode analisis dan observasi lapangan. Penelitian ini dilaksanakan dalam kurun waktu Juli 2022 sampai Mei 2023 dengan fokus penelitian di Sub Daerah Aliran Sungai Saddang Hulu yang meliputi 4 kabupaten yaitu, Kabupaten Toraja Utara, Kabupaten Tana Toraja, Kabupaten Enrekang dan Kabupaten Pinrang. Lokasi untuk penelitian meliputi observasi lapangan serta di Laboratorium Pengelolaan Daerah Aliran Sungai.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

II.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 2. Alat Penelitian

No	Alat	Kegunaan
1	Komputer/laptop	Pengolahan Data
2	Kamera	Dokumentasi Penelitian

3	Alat tulis menulis	Mencatat proses penelitian (Teknis dan non teknis) di lapangan
4	Software GIS	Analisis Spasial

Tabel 3. Bahan Penelitian

No	Bahan	Kegunaan
1	Peta Administrasi Kabupaten Toraja Utara, Kabupaten Tana Toraja, Kabupaten Enrekang dan Kabupaten Pinrang	Lokasi Analisis
2	Citra Landsat 7 (2010-2016)	Analisis Perubahan lahan (Molusca CA)
3	Citra Landat 8 (2022)	
4	DEM Nasional	
5	Peta landsystem RePProt Skala 1 : 250.000	Data untuk faktor yang berpengaruh terhadap erosi dan sedimentasi
6	Data Iklim 10 tahun terakhir dari satelis Merra-2 NASA	
7	Data Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Toraja Utara, Kabupaten Tana Toraja, Kabupaten Enrekang dan Kabupaten Pinrang	

II. 3. Sumber Data Penelitian

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 penggunaan/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 pada tabel 4.

Tabel 4. Sumber Data Penelitian

No	Judul	Sumber dan Skala
1	Batas DAS Saddang	Dirjen RLPS Kementerian Kehutanan tahun 2009 Skala 1 : 250.000

2	Sungai Utama, Anak Sungai, Jalan, dan Administrasi	Portal Geospasial Indonesia Skala 1:50.000 (tanahair.indonesia.go.id)
3	Data Kontur	DEMNAS Resolusi 8 m (tides.big.go.id)
4	Penutupan Lahan 2010-2022	Citra Landsat 7 dan 8 Path 114 Row 63 tahun 2010-2022 resolusi 30 m
5	Data Iklim Tahun 2010-2022	https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer
6	Jenis Tanah	Bokosurtanal 1987 1 : 250.000
7	Arahan Penggunaan Lahan	Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Toraja Utara, Kabupaten Tana Toraja, Kabupaten Enrekang dan Kabupaten Pinrang

II.4. Kerangka Penelitian

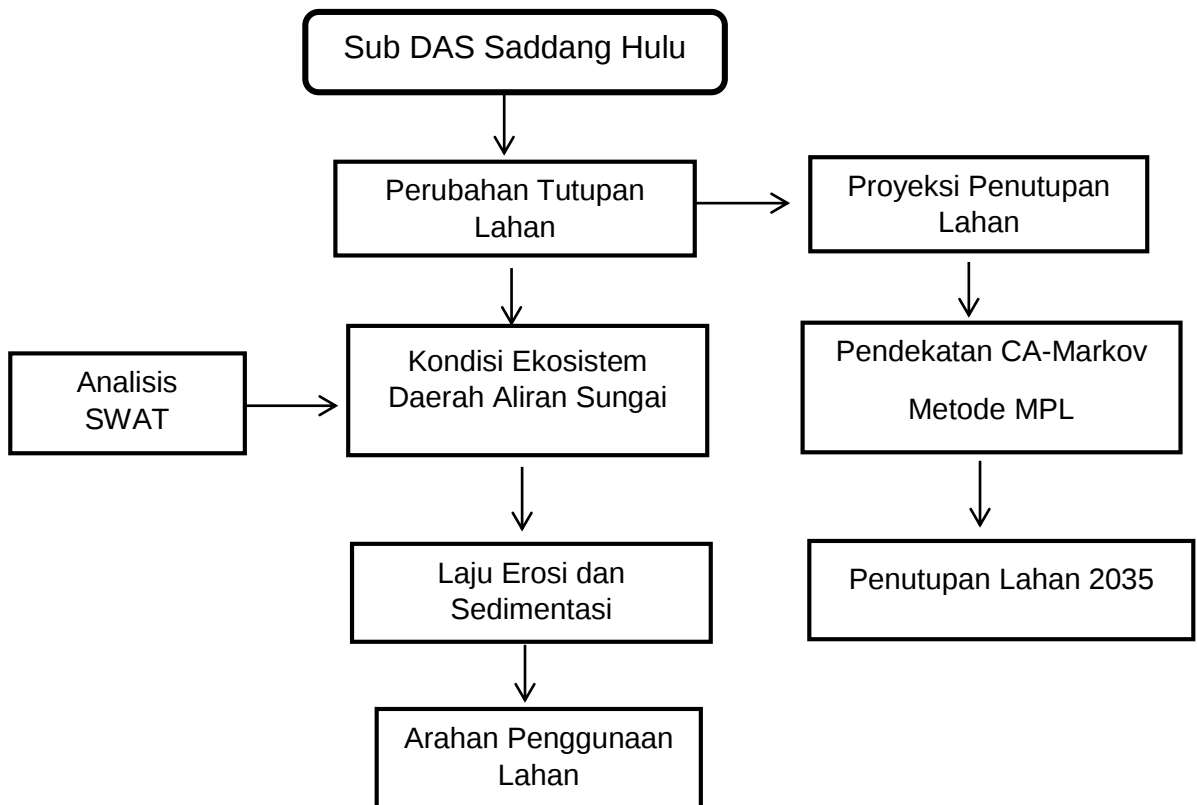
Kabupaten Toraja Utara, Kabupaten Tana Toraja, Kabupaten Enrekang dan Kabupaten Pinrang, secara hidrologi termasuk dalam Sub DAS Saddang Hulu. Pada saat musim hujan mengalami banyak masalah baik itu bencana longsor maupun banjir karena kurangnya penutupan lahan yang berhutan sehingga sangat berpengaruh terhadap kondisi hidrologi DAS.

Peningkatan curah hujan terjadi karena siklus hidrologi yang berubah akibat perubahan penggunaan lahan sehingga terjadi sungai tidak mampu menahan aliran air yang begitu banyak karena banyaknya air yang jatuh ke permukaan tanah (*run-off*) akan tetapi dengan adanya vegetasi jumlah air yang mengalir di permukaan tanah akan berkurang dan akan lebih banyak masuk ke dalam tanah.

Upaya yang dilakukan dalam mengurangi Erosi dan sedimentasi meningkat adalah dengan cara melakukan perbaikan kembali kawasan hutan (Rehabilitasi kawasan hutan). Peningkatan jumlah erosi dan sedimentasi pada suatu Daerah Aliran Sungai diidentifikasi dengan suatu pemodelan hidrologi. Dalam pemodelan hidrologi membutuhkan beberapa data input yang diperlukan seperti kondisi biofisik (Penutupan lahan) dan data iklim (Curah Hujan, Kelembapan Relatif, Suhu, Radiasi Matahari, Kecepatan Angin). Sehingga akan diperoleh data jumlah erosi dan sedimentasi pada suatu wilayah DAS.

Untuk memperkecil dampak perubahan Penutupan lahan terhadap peningkatan erosi dan sedimentasi, maka perlu dilakukan kegiatan mitigasi sehingga mengurangi dampak yang lebih beresiko tinggi yang akan terjadi di masa yang akan datang. Adapun langkah yang perlu dilakukan seperti melakukan identifikasi Erosi dan sedimentasi. Dalam penentuan langkah mitigasi maka sangat diperlukan data informasi erosi dan sedimentasi dalam suatu DAS tersebut. Arahan mitigasi yang dilakukan baik itu seperti

rehabilitasi hutan serta mengatur penggunaan lahan. Adapun kerangka pikir yang dilakukan dalam penelitian dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Kerangka Pikir Penelitian

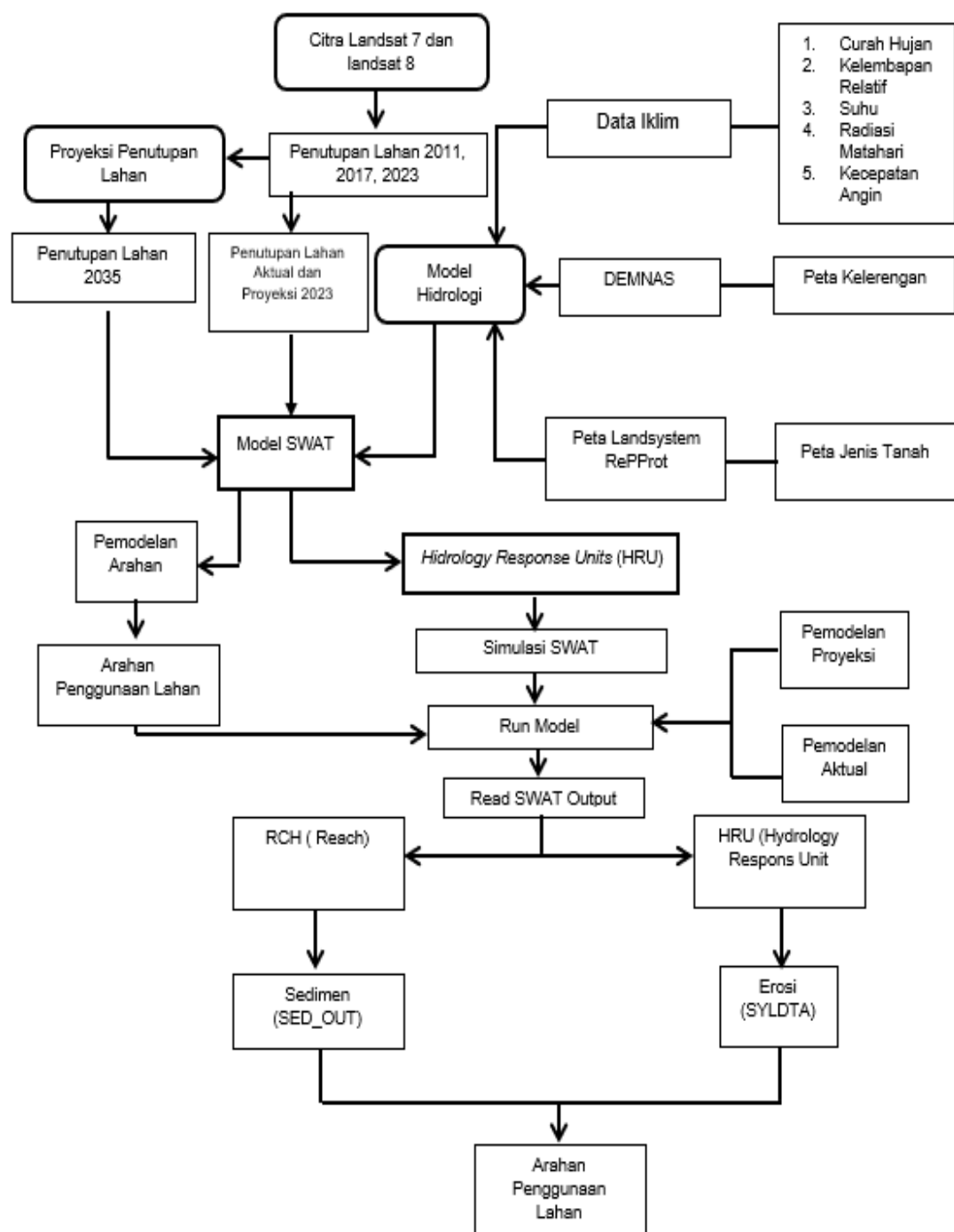
II. 5. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari interpretasi citra landsat 7ETM+ untuk tahun 2011, 2017 dan citra landsat 8 untuk tahun 2023, serta mengetahui perubahan lahan di Sub DAS Saddang Hulu, 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 3



Gambar 3. Prosedur Penelitian

II.4.1. Penentuan Batas Lokasi

Analisis data DEM dalam model SWAT meliputi tahapan ekstraksi batas DAS dan sub-sub DAS serta pembuatan kelas kemiringan lereng. 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. Adapun data kelerengan yang merupakan hasil dari menjalankan program ArcSWAT yang kemudian dibagi kedalam 5 klasifikasi kelas lereng yaitu 0-8% (datar), 8-15% (landai), 15-25% (agak curam), 25-40% (curam), dan >40% (sangat curam).

Data yang diperlukan untuk menentukan batas lokasi penelitian yaitu data *digital elevation model* (DEM). Dimana data ini diperoleh dari hasil ekstraksi data DEM Nasional pada SWAT yang penentuan batasnya dengan melihat outlet DAS pada tahapan *watershed delineation*. Data DEM Nasional (DEMNAS) yang digunakan resolusi 8 m × 8 m. Data digital elevation model (DEM) dengan pendekatan sistem informasi geodrafis dengan tools interpolation Topo to Raster dengan menggunakan data shapefile batas wilayah (Batas DAS Saddang) yang bersumber dari Dirjen Rehabilitasi lahan dan Perhutanan Sosial (RLPS) Kementerian kehutanan tahun 2009, data shapefile kontur dengan interval 10 meter yang di ekstrak dari data DEMNAS resolusi 8 meter, data shapefile sungai utama, dan anak sungai. Input data pembuatan data DEM diatur kedalam sistem proyeksi koordinat universal Transverse Mercator (UTM). Setelah memasukkan data pada analisis interpolation Topo to Raster, selanjutnya mengatur cellsize (Ukuran sel data DEM sebesar 30 meter

II.4.2. 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)

II.4.3. Interpretasi Citra

Penutupan lahan diperoleh dari data citra satelit berupa citra landsat. Citra stelit yang digunakan dalam penelitian ini yaitu citra landsat 7 ETM+ untuk perekaman tahun 2009 dan Citra Landsat 8 untuk tahun 2021 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.

II.4.4. Penetapan Koordinat Titik-titik untuk perwakilan penutupan lahan

Untuk melakukan pengujian akurasi citra maka dilakukan pengambilan titik koordinat yang menjadi perwakilan. Penetapan koordinat titik-titik yang menjadi perwakilan setiap penggunaan lahan dilakukan melalui penandaan pada peta penutupan lahan yang ditentukan dengan purposive sampling yaitu memilih lokasi yang terdekat dengan mempertimbangkan faktor kemudahan aksesibilitas dari setiap penutupan lahan yang dipilih dan melihat luasan dari masing-masing kelas penutupan lahan. Jarak dari akses yaitu 500 meter dari setiap penutupan lahan yang dipilih. Titik sampel yang telah ditentukan, dicatat data koordinatnya untuk kemudian dilakukan pengecekan di lapangan (*Ground Check*) dengan memperhatikan juga pemandangan alam yang ada di citra seperti sungai, dan saluran irigasi.

II.4.5. Uji Akurasi Citra

Perhitungan akurasi klasifikasi citra dilakukan dengan metode *confusion matriks*. Untuk menguji keakuratan interpretasi citra maka dilakukan uji akurasi klasifikasi citra. Akurasi merupakan perbandingan antara hasil klasifikasi citra dengan kondisi yang ada di lapangan. Data hasil klasifikasi citra dan data hasil pengecekan di lapangan disusun dalam sebuah tabel perbandingan persentase (Lillesand and Kiefer, 1997).

Uji akurasi klasifikasi citra digunakan untuk mengetahui sejauh mana keakuratan interpretasi citra yang telah dilakukan. Proses ini disebut dengan *overall accuracy* dan *kappa accuracy*. Akurasi yang bisa dihitung terdiri dari akurasi pembuat (*producer's accuracy*), akurasi pengguna (*user's accuracy*), dan akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) dengan persamaan sebagai berikut :

Perhitungan *Kappa Accuracy* :

$$OA = \frac{x}{n} \times 100\%$$

Dimana :

x = jumlah nilai diagonal matriks

n = jumlah sampel matriks

Tabel 5. *Confusion Matriks*

		Data Acuan (Pengecekan Lapangan)		
		A	B	C
Data Hasil	A'	X_{11}		
Interpretasi	B'			
Citra	C'			X_{kk}
Total Baris		$X + k$		N

Sumber: Lillesand dan Kiefer, 1994

Keterangan :

A,B,C	: Data hasil Acuan
A', B', C'	: Data hasil Klasifikasi Citra
X_n	: Data yang diuji
$\sum X_n$	: Jumlah Masing-masing data acuan/klasiikasi Citra
N	: Total data yang diuji

Tingkat keakuratan interpretasi citra dapat diterima jika memperoleh nilai 85% (Lillesand and Kiefer, 1997). Hasil interpretasi citra yang telah memenuhi kemudian diubah database penamaannya sesuai dengan penamaan pada penutupan lahan model SWAT.

II.4.6. Pengumpulan Data iklim

Data iklim diperoleh dari data global terkait yaitu NASA. Data iklim tersebut dapat diperoleh melalui website <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Data iklim yang dibutuhkan berupa data (curah hujan (mm), Suhu udara (°C), radiasi matahari (MJ/M2), kelembaban udara (Fraksi), dan kecepatan angin (m/s) yang merupakan perhitungan harian selama 12 tahun mulai 2011-2023.

II.4.7. Identifikasi Faktor Pendorong

Pada tahapan identifikasi terhadap beberapa variabel yang mendorong perubahan penutupan/penggunaan lahan, penentuan faktor pendorong dipilih secara deskriptif dengan memunculkan variabel-variabel yang akan dimasukkan ke dalam model, seperti aksesibilitas jalan, jarak ke sungai, jarak ke pemukiman serta fasilitas umum (Pariwisata dan lokasi industri). Ke empat variabel ini dipilih karena memiliki pengaruh terhadap perubahan penutupan/penggunaan lahan.

Tahapan selanjutnya membuat peta dari dari setiap faktor pendorong yang digunakan. Setiap faktor pendorong dibuat dengan fitur *Euclidean distance* pada Software ArcGIS. Jarak dihitung berdasarkan *euclidean*, yaitu jarak dari satu objek ke objek yang lainnya. Setiap faktor pendorong kemudian dikonversi menjadi data raster yang kemudian akan digunakan sebagai variabel input dalam *Plugin Molusce* QGIS.

Selanjutnya akan diuji korelasi terhadap keterkaitannya antara variabel dengan menggunakan metode *Cramer's Coefficient* yang ada dalam *plugin Molusce* QGIS. Koefisien korelasi cramer merupakan koefisien korelasi anantara dua variabel dimana tabel kontingensi. Pada tabel kontingensi akan dicari nilai harapan (expected value) untuk setiap cell-nya.

Dalam uji Koefisien cramer, nilai yang lebih besar dari 0,15 menunjukkan bahwa nilainya potensial. Nilai kurang dari 0,15 dianggap ditolak (Fitriyanto dkk., 2019). Semakin tinggi nilai maka semakin berkaitan antara variabel pendorong dengan perubahan penutupan/penggunaan lahan yang terjadi.

II.4.8. Proyeksi Perubahan Penggunaan Lahan

Proyeksi Penggunaan lahan pada penelitian ini digunakan sistem *Artificial Neural Network* (ANN) teknik *Multi-layer Perceptron* (MPL) dan model *Celular Automata* (CA) yang dijalankan dengan menggunakan Plugin Molusce (Modules for Land Use Change Simulation) yang tersedia dalam software QGIS. Produk Utama dalam pemodelan *Artificial Neural Network* adalah matriks transisi (*transition matriks*) yang menjelaskan peluang Perubahan penggunaan lahan atas dasar pengamatan tahun tertentu dalam penelitian ini adalah tahun 2009 sampai tahun 2021. Pola perubahan penggunaan lahan yang terjadi antara tahun 2009 sampai tahun 2021 menjadi variabel untuk proyeksi penggunaan lahan tahun 2033. Dengan menggunakan data perubahan penggunaan lahan tahun 2009 sampai dengan tahun 2021, maka estimasi 12 tahun yang akan datang dapat dilakukan. Proyeksi perubahan penggunaan lahan pada Sub DAS Saddang Hulu dengan pemodelan *Artificial Neural Network* dilakukan melalui software SIG.

II. 5. Analisis Data

Adapun analisis data yang digunakan pada penelitian ini di sajikan sebagai berikut :

II.5.1. Analisis Perubahan dan Proyeksi Tutupan lahan

Perubahan penutupan lahan diperoleh dari hasil interpretasi citra landsat 7 dan landsat 8 di Sub DAS Saddang Hulu. Dari hasil interpretasi akan di dapatkan peta penutupan lahan tahun 2011 dan 2023 perbandingan penutupan lahan ini dilakukan selama 12 tahun untuk mengetahui perubahan penutupan lahan yang besar serta dapat mengetahui kejadian deforestasi selama 12 tahun terakhir. Hasil yang didapatkan juga nantinya kemudian dibuatkan unit lahan pada setiap tipe penutupan lahan dengan menggunakan data peta kemiringan lereng dan peta jenis tanah untuk mendapatkan setiap unit lahan tersebut.

Dari hasil interpretasi Citra juga yang didapatkan nantinya dari tahun 2009 sampai 2021 selama kurun waktu 12 tahun, maka dilakukan proyeksi penggunaan lahan dengan menggunakan metode *Celular Automata - Markov* (CA-Markov). Penggunaan lahan tahun 2035 diperoleh dengan membandingkan Perubahan antara tahun 2011 dan 2023. Hasil dari analisis merupakan input untuk penentuan penggunaan lahan pada tahun proyeksi.

Model *Markov Chain* akan menghasilkan *transitional/probability area matrix* yang merupakan matriks transisi perubahan dari tahun sebelumnya ke tahun proyeksi. Persamaan dibangun menggunakan distribusi penggunaan lahan pada awal dan akhir pengamatan yang direpresentasikan dalam suatu vektor (matriks atau kolom), serta sebuah matriks transisi (transition Matrix) (Asrib, 2012). Hubungan ketiga matriks tersebut adalah sebagai berikut :

$$P = (P_{ij}) = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{pmatrix}$$

Dimana P_{ij} merupakan nilai peluang perubahan penggunaan lahan i menjadi penggunaan lahan j , dimana n menunjukkan jumlah kelas penggunaan lahan. Besarnya nilai P_{ij} harus memenuhi syarat $0 \leq P_{ij} \leq 1$ ($i, j, = 1, 2, 3, \dots, n$).

Validasi model dilakukan sebelum menjalankan model untuk melakukan proyeksi penutupan/penggunaan lahan ke masa yang akan datang. Dapat diterima atau setidaknya validasi model dihitung dengan nilai Kappa (loc) 0,81 – 1,00 dinilai sangat baik, 0,61 – 0,80 adalah baik, 0,41 – 0,60 adalah sedang, 0,21 – 0,40 adalah kurang dari sedang dan nilai $< 0,21$ dikatakan buruk (Lillesand dan Kiefer, 1994). Ilustrasi Matriks transisi disajikan pada tabel 6

Tabel 6. Ilustrasi *transitional/probability area* matriks

Penggunaan Lahan 2010	Penggunaan Lahan 2020			
	P_{it2}	P_{it2}	.....	P_{zt2}
P_{it11}	X_{ii}	.....	.....	.....
P_{it11}	.....	X_{ii}	.....	.....
.....				
P_{zt1}	.....	.....	.....	X_{ii}

Sumber : Lilesand dan kiefer, 1994

Keterangan :

P_{it1} : Tipe penggunaan lahan ke- i pada tahun $t1$ (2011)

P_{it2} : Tipe penggunaan lahan ke- i pada tahun $t2$ (2023)

Z : Jumlah tipe penggunaan lahan

X_{ii} : Luas perubahan penggunaan lahan ke – i periode tahun $t1$ - $t2$

$t1$: Tahun Ke- 1(2011)

$t2$: Tahun ke- 2 (2023)

Langkah selanjutnya adalah menjalankan model *Celular Automata* untuk mendpatakan proyeksi penggunaan lahan tahun 2035. Data-data yang dimasukkan berupa matriks transisi dan penggunaan lahan tahun 2023.

Validasi model dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar keakuratan proyeksi yang kita lakukan. Uji validasi dilakukan dengan membandingkan simulasi prediksi penggunaan lahan tahun hasil proyeksi 2023 dengan penggunaan lahan tahun 2023 aktual kemudian dilakukan tumpang tindih untuk mendapatkan nilai presentase luasan yang sesuai sebagai nilai validasi. Menurut Jensen (1996), uji validasi diukur dengan Kappa *Index of Agreement* (nilai kappa) sebagai berikut.

$$\text{Kappa} = \frac{N \times \alpha_{i=1}^Z X_{ii} - \alpha_{i=1}^Z (X_{i+} X_{+i})}{N^2 - \alpha_{i=1}^Z (X_{i+} X_{+i})} \times 100\%$$

Keterangan:

K : nilai Kappa

X_{ii} : luas tipe penggunaan lahan ke- i hasil simulasi yang bersesuaian dengan luas tipe penggunaan lahan ke- i hasil observasi.

- X_i+ : luas tipe penggunaan lahan ke-i hasil simulasi
 X_i : luas tipe penggunaan lahan ke-i hasil observasi
 N : jumlah luas semua tipe penggunaan lahan
 z : jumlah tipe penggunaan lahan

Setelah Tahap validasi model diterima, model CA kembali dijalankan untuk melakukan proyeksi penutupan/penggunaan lahan tahun 2035. *Transision Matrix* yang merupakan makriks transisi perubahan dari tahun sebelumnya ke tahun proyeksi digunakan untuk mengetahui peluang perubahan masing-masing kelas penutupan/penggunaan lahan. Output hasil proyeksi penutupan /penggunaan lahan tahun 2035 kemudian di tumpang tindih dengan peta penutupan lahan tahun 2023 sehingga menghasilkan peta perubahan penutupan/penggunaan lahan tahun 2035.

II.5.2. Analisis Hubungan Tutupan Lahan dengan Erosi dan Sedimentasi

Analisis erosi dan sedimentasi Sub DAS Saddang Hulu dilakukan dengan menggunakan model SWAT. Dalam pemodelan SWAT hal yang terlebih dahulu dilakukan dengan proses deliniasi DAS dengan memasukkan data DEM yang telah dibuat, selain itu data input berupa penutupan lahan hasil dari interpretasi citra dan arahan penggunaan lahan kabupaten Toraja Utara, Tana Toraja, Enrekang dan Pinrang yang telah disesuaikan dengan klasifikasi penutupan lahan yang telah ada di model SWAT. Penyiapan data jenis tanah dari RePPPProt dengan parameter fisik dan kimia tanah yang diperoleh dari pengambilan sampel tanah di lapangan yang kemudian di uji di laboratorium. Semua data tersebut di input dalam format raster yang diatur dalam sistem proyeksi koordinat *Universal Transverse Mercator* (UTM) dengan ukuran piksel sebesar 30 meter. Serta data iklim yang telah disiapkan pada proses pengumpulan data (<https://globalweather.tamu.edu>) yang diperoleh dari stasiun pengamatan iklim BBWS pompengan-jeneberang yang berada dalam atau sekitar area Sub DAS Saddang Hulu. Tahapan kegiatan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut:

II.5.2.1. Delineasi Batas DAS

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

II.5.2.2. Pembentukan HRU (*Hydrological Response Unit*)

Setelah proses delineasi, dilakukan pembentukan HRU. Pada tahap ini dilakukan *overlay* antara hasil data DEM, data penutupan lahan, serta data tanah. Pembuatan HRU terdiri dari interval *slope*, peta raster *landuse* dan peta raster tanah format sistem koordinat proyeksi UTM, dan *threshold* dari presentase total luasan *landuse* 10%, jenis tanah sebesar 5%, dan *slope* sebesar 5% (Arsyad 2012). Dari hasil setiap HRU yang terbentuk akan berisi informasi unti lahan yang mencakup penutupan lahan, kemiringan lereng dan jenis tanah.

II.5.2.3. Pengaturan Masukan Data

Pengaturan masukan data pada analisis SWAT merupakan proses analisis penggabungan HRU dan data iklim dari stasiun di dalam atau sekitar Sub DAS Saddang Hulu yang mempunyai informasi letak koordinat dan ketinggian. Data iklim tahun 2011-2021 berupa hujan (mm), suhu udara ($^{\circ}\text{C}$), kelembapan udara (fraksi), radiasi matahari (MJ/m^2) dan kecepatan angin (m/s)

II.5.2.4. Penggabungan HRU dengan Data Iklim

Proses penggabungan HRU dan data iklim dilakukan setelah satuan analisis terbentuk. Pada tahap ini ditentukan periode simulasi terlebih dahulu untuk kemudian dilakukan pemasukan data iklim. Pemasukan data iklim dilakukan untuk mendapatkan keluaran berupa debit harian hasil simulasi.

II.5.2.5. Simulasi Model SWAT

Simulasi SWAT membutuhkan data iklim berupa curah hujan dan suhu pada stasiun yang mewakili daerah DAS, serta data *weather generator* berupa radiasi matahari, kecepatan angin, suhu, curah hujan, dan titik embun. Persamaan yang digunakan di dalam simulasi SWAT untuk melakukan prediksi aliran permukaan adalah metode *SCS Curve Number*.

II.5.2.6. Pengaturan masukan untuk simulasi SWAT

Setelah diperoleh model SWAT tahun 2023 di sub DAS Saddang Hulu yang telah divalidasi atau kalibrasi. Selanjutnya dilakukan pengaturan masukan data untuk memperoleh hasil dari jumlah erosi dan sedimen pada tahun 2023.

II.5.2.7. Pendefinisian Output SWAT

Model SWAT yang telah dijalankan menghasilkan output model diantaranya HRU (Hydrological Response Unit) DAN rch (Reach). Dari output HRU dapat dikeluarkan hasil erosi dengan kode SYLDT_ha, sedangkan untuk RCH dapat dikeluarkan hasil sedimen dengan kode SED_OUTtons. Hasil ini kemudian digunakan untuk menganalisis kondisi pada Sub DAS Saddang Hulu secara deskriptif Kuantitatif.

II.6. Analisis Arahan Penggunaan Lahan

Arahan penggunaan lahan sangat penting dalam pengelolaan Daerah Aliran Sungai yang lebih baik. Arahan penggunaan lahan yang akan direkomendasikan nantinya kita harus memperhatikan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Tana Toraja, Toraja Utara, Enrekang dan Pinrang yang kemudian di overlay dengan peta Fungsi Kawawan. Dari hasil overlay akan di hasilkan peta yaitu peta pola ruang kawasan Saddang Hulu yang telah di sesuaikan. 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 dapatkan peta penutupan lahan tahun 2021 setelah itu di overlay dengan peta pola ruang kawasan hutan yang awalnya telah di sesuaikan dengan peta fungsi kawasan hutan.

Perubahan Penutupan lahan sebagai masukan dalam model juga mempengaruhi Erosi dan sedimentasi. Perubahan Penutupan lahan nantinya di Sub DAS Saddang Hulu yang akan di analisis kemudian di bandingkan pada setiap penutupan lahan dari tahun 2011, 2017 dan 2023 yang kemudian di proyeksikan ke tahun 2035, sehingga akan didapatkan perubahan penutupan lahan yang paling terbesar dalam kurun waktu 12 tahun ke depan. Salah satu hal yang paling berpengaruh terhadap erosi dan sedimentasi yaitu bertambahnya jumlah penduduk yang berpengaruh terhadap perubahan penutupan lahan seperti meningkatnya pemukiman dan lahan pertanian sehingga terjadi peningkatan aliran permukaan dan terjadinya banyak sedimentasi.

Penentuan arahan penggunaan lahan di dasarkan dengan pola ruang yang ada di wilayah DAS itu sendiri yang di peroleh dari data RTRW yang ada pada masing-masing kabupaten yang mencakup wilayah Sub DAS Saddang Hulu, secara bertahap dan terkontrol sehingga dapat mewujudkan pengelolaan DAS secara berkelanjutan serta dapat mengurangi peningkatan aliran permukaan sehingga mengurangi resiko terjadinya bencana banjir dan tanah longsor.

Arahan internalisasi pada Sub Das Saddang hulu dengan melakukan layout peta untuk mendapatkan Kajian dampak (Impact Assesment) Erosi, sedimentasi dan limpasan sehingga akan diperoleh peta Impacat Assesment Erosi, sedimentasi dan aliran permukaan. Untuk mempreoleh kajian dampak diperoleh Peta Tata guna Lahan RTRW serta peta tutupan lahan terbaru dan juga peta untuk menghitung nilai erosi, sedimentasi dan Limpasan.

Berdasarkan besarnya laju erosi dan sedimentasi pada suatu Daerah aliran sungai maka dilakukan rehabilitasi pada bagian hulu untuk mengurangi dampak yang lebih besar nantinya, sehingga akan ada upaya mitigasi untuk mengurangi kejadian bencana tersebut. Klasifikasi tigtat erosi dan sedimentasi sebagai acuan untuk menentukan arahan penggunaan lahan yang tepat agar dapat mengurangi terjadinya erosi.

II.6.1. 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 Soil Loss Equation*

Hasil Erosi dihitung dengan persamaan :

$$SY = R \times L \times LS \times CP$$

Dimana:

$$R = a(V_Q X Q_P)^b$$

Keterangan :

SY : Jumlah Tanah tererosi (ton/tahun)

R : Aliran Permukaaan

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

Hasil tingkat erosi didapat nantinya kemudian di klasifikasikan dengan mengacu pada tabel yang disajikan tabel 7 berikut:

Tabel 7. 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	Sedang (S)
IV	180 – 480	Erosi Berat (B)
V	>480	Erosi Sangat Berat (SB)

Sumber :Departemen Kehutanan, 1998

II.6.2. Perhitungan tingkat Sedimen

Hasil sedimen diperoleh dari proses analisis yang dilakukan pada tahun 2021 yang kemudian di proyeksikan ke tahun 2033. Kemudian dihitung berdasarkan persamaan:

$$Sed = 11.8 (Q_{surf} \cdot Q_{peak} \cdot Area_{hru})^{0.56} \cdot K_{usle} \cdot C_{usle} \cdot P_{usle} \cdot L_{usle} \cdot CFRG$$

Keterangan :

Sed : Jumlah Tanah Tersedimentasi

Q_{surf} : Permukaan Volume Limpasan

Q_{spek} : Tingkat Limpasan Puncak

$Area_{hru}$: Area HRU

K_{usle} : Faktor Erodibilitas Tanah

C_{usle} : Faktor Tanaman

P_{usle} : Faktor Konservasi Tanah

L_{usle} : Faktor Kemiringan Lereng

CFRG : Faktor Fragmen Kasar

Untuk menentukan arahan penggunaan lahan tepat, maka perlu diketahui seberapa besar muatan sedimen yang ada di Sub DAS Saddang Hulu, klasifikasi muatan sedimen disajikan pada tabel 8.

Tabel 8. Klasifikasi Sedimen

No	Muatan Sedimen (Ton/ha/Tahun)	Keterangan
1	<15	Sangat Rendah
2	>5 – ≤10	Rendah
3	>10 – ≤15	Sedang
4	>15 – ≤20	Tinggi
5	>20	Sangat Tinggi

Sumber: Peraturan Menteri Kehutanan RI No. P61/Menhut.II/2014

II.6.3. Klasifikasi Limpasan Permukaan

Setelah diketahui Tingkat sedimentasi dan erosi, maka dilakukan internalisasi untuk memperoleh bagian yang perlu direhabilitasi seperti penentuan impact Erosi, Impact Sedimentasi dan Impact Limpasan Permukaan. Adapun Klasifikasi untuk penentuan impact Limpasan Permukaan. Kemudian diklasifikasikan pada tabel 9

Tabel 9. Perhitungan Skor Limpasan

No	Kategori Nilai	Skor Total
1	Rendah	< 25
2	Normal	26-50
3	Tinggi	51-75
4	Ekstrim	76-100

Sumber : Ven T., Chow, 1964

Penerapan arahan penggunaan lahan yang dilakukan dengan memperhatikan pola ruang yang semisal jika pola ruang berupa hutan lindung sedangkan penutupan lahan pertanian, padang rumput, semak belukar dan lahan terbuka diarahkan untuk kegiatan reboisasi untuk mengembalikan fungsi hutan. Jika pola ruang berupa lahan pertanian akan tetapi penutupan lahan semak belukar, padang rumput dan lahan terbuka maka di arahkan ke kegiatan agroforestry. Reboisasi juga dilakukan untuk hutan lindung dengan tujuan untuk mengembalikan vegetasi hutan pada lahan-lahan terbuka maupun semak belukar dan areal yang dikelola masyarakat. Dengan kembalinya hutan yang telah direboisasi nantinya pada wilayah tersebut, maka diharapkan laju erosi dan sedimentasi berkurang sehingga dapat meminimalisir terjadinya bencana.

Hutan Produksi dan hutan produksi terbatas nantinya diarahkan untuk hutan tanaman. Lahan-lahan terbuka dan semak belukar yang berada pada bagian hulu seharusnya akan diarahkan sesuai dengan fungsinya tersebut. Selain mengurangi laju erosi dan sedimen dengan hutan tanamann juga dapat memberikan nilai ekonomi kepada masyarakat