

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) Minraleng merupakan salah satu Sub DAS Walanae Hulu yang terletak di Kabupaten Maros dan berada di tiga kecamatan, yaitu Kecamatan Cenrana, Kecamatan Camba, dan Kecamatan Mallawa. Seluas 18.446 ha wilayah Sub DAS Minraleng merupakan daerah kritis, sehingga menjadi prioritas pengelolaan DAS. Salah satu permasalahan yang terjadi di Sub DAS Minraleng adalah tutupan lahan dengan berbagai pola pemanfaatan lahan yang kurang baik (Fadhil & Oktaviani, 2019). Hasil analisis penutupan lahan pada Sub DAS Minraleng tahun 2009-2019 menggunakan *Google Earth* diperoleh informasi bahwa terjadi banyak perubahan tutupan lahan yang berhutan menjadi tidak berhutan (Arianti, 2021).

Perubahan penutupan lahan menjadi salah satu faktor dominan yang mempengaruhi tanah erosi pada suatu lanskap (Badaruddin et al., 2021; Buton et al., 2018; Hariati et al., 2022). Alih fungsi lahan hutan menjadi lahan pertanian dan lahan terbuka menjadi penyebab meningkatnya erosi tanah (Chalise & Kumar, 2020; Kristofery et al., 2019). Perubahan penutupan lahan dan erosi tanah berdampak buruk terhadap lingkungan (Anaba et al., 2017; Permatasari et al., 2017), dan dampak perubahan penutupan lahan dalam jangka panjang pada hilangnya nutrisi dan sedimentasi telah dilaporkan di skala dunia (Li et al., 2014).

Erosi merupakan masalah yang sering terjadi pada ekosistem DAS. Erosi adalah hilangnya tanah dari satu tempat yang diangkut oleh air atau angin ke lokasi lain. Tanah yang tererosi yang diangkut oleh limpasan permukaan akan diendapkan di daerah yang aliran airnya melambat, seperti sungai, saluran irigasi, waduk, dan danau, yang disebut peristiwa sedimentasi (Isma et al., 2019; Wahyuni et al., 2021).

Laju erosi tanah pada penutupan lahan ladang dan pertanian campuran diketahui lebih tinggi jika dibandingkan dengan penutupan lahan hutan (Badaruddin et al., 2021; Firdaus et al., 2014; Kristofery et al., 2019). Sejalan dengan itu, perubahan penutupan lahan dalam kurun waktu 1988-2013 di DAS Wae Lela juga menunjukkan terjadi peningkatan nilai erosi pada lahan kebun campuran (Buton et al., 2018).

Penelitian mengenai erosi telah dilakukan dengan menggunakan berbagai metode seperti USLE (*Universal Soil Loss Equation*), RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*), dan MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*) dalam pemodelan SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). Dalam penelitian ini, model SWAT dipilih karena telah terhubung dengan Sistem Informasi Geografis sehingga membuat pekerjaan dapat berjalan lebih mudah. Selain itu, model SWAT dapat menghasilkan data yang lebih akurat dalam mensimulasikan permasalahan pada DAS.

Penelitian dengan membandingkan hasil analisis erosi model SWAT dengan observasi di lapangan pernah dilakukan. Penggunaan model SWAT menunjukkan bahwa model ini dianggap mampu mensimulasikan erosi tanah (Rahmad et al., 2017; Rombang et al., 2022). Menurut Kiros et al. (2015) & Zhang et al. (2014), model SWAT sangat mampu dalam melakukan simulasi terhadap limpasan dan hasil sedimen sehingga penggunaan model ini dapat digunakan pada tingkat DAS karena akurat walaupun melakukan simulasi dalam rentan waktu yang panjang seperti menganalisis perubahan penutupan lahan.

Penelitian ini dilakukan di Sub DAS Minraleng dengan judul Prediksi Laju Erosi Berdasarkan Penutupan Lahan Tahun 2022 dan Proyeksi Tahun 2032 di Sub Daerah Aliran Sungai Minraleng, Kabupaten Maros. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi laju erosi sehingga dapat menjadi acuan dalam upaya pemanfaatan lahan dan konservasi tanah di Sub DAS Minraleng.

1.2 Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini, yaitu:

1. Mengidentifikasi perubahan penutupan lahan tahun 2012 dan 2022 serta melakukan proyeksi perubahan penutupan lahan tahun 2032 di Sub DAS Minraleng.
2. Menentukan kelas erosi berdasarkan laju erosi pada tahun 2022 dan 2032 di Sub DAS Minraleng.
3. Membuat arahan rehabilitasi pada Sub DAS Minraleng berdasarkan laju erosi.

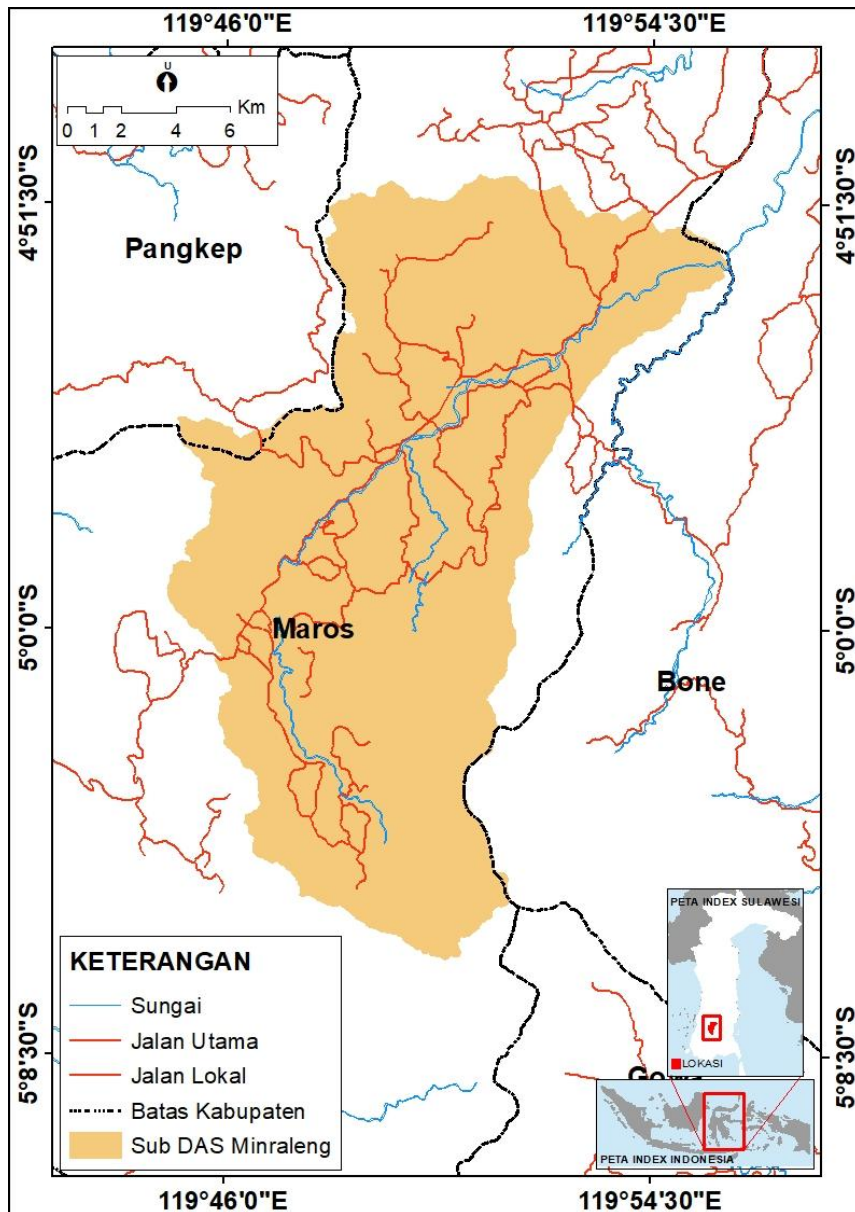
1.3 Manfaat

Adapun tujuan dan manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi tentang daerah yang memiliki tingkat erosi yang tinggi berdasarkan penutupan lahan yang berubah dan membuat arahan rehabilitasi lahan di Sub Daerah Aliran Sungai Minraleng.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan mulai pada bulan Februari 2023 hingga Agustus 2025 dengan dua tahapan kegiatan, kegiatan lapangan dan analisis data. Kegiatan lapangan terdiri atas pengecekan penutupan lahan dan pengambilan sampel tanah. Sedangkan analisis data yaitu proses interpretasi citra dan perhitungan laju erosi Sub DAS Minraleng, DAS Walanae. Penelitian ini dilaksanakan pada Sub (DAS) Minraleng, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan dan Laboratorium Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Receiver GPS, Kamera, Alat tulis menulis, dan Laptop yang dilengkapi software Sistem Informasi Geografis (SIG).

2.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

1. Peta Batas Sub DAS Minraleng yang bersumber dari Aster DEM 30M.
2. Peta Penutupan Lahan yang bersumber dari Citra Landsat 7 ETM⁺ Perekaman tahun 2012, dan Citra Landsat 8 OLI/TIRS Perekaman tahun 2017 dan tahun 2022.
3. Peta Iklim yang bersumber dari *Power Larc NASA*.
4. Peta Kelerengan yang bersumber dari Aster DEM 30M.
5. Peta Jenis Tanah yang bersumber dari Peta Landsystem RePPPtot 1987.

2.3 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

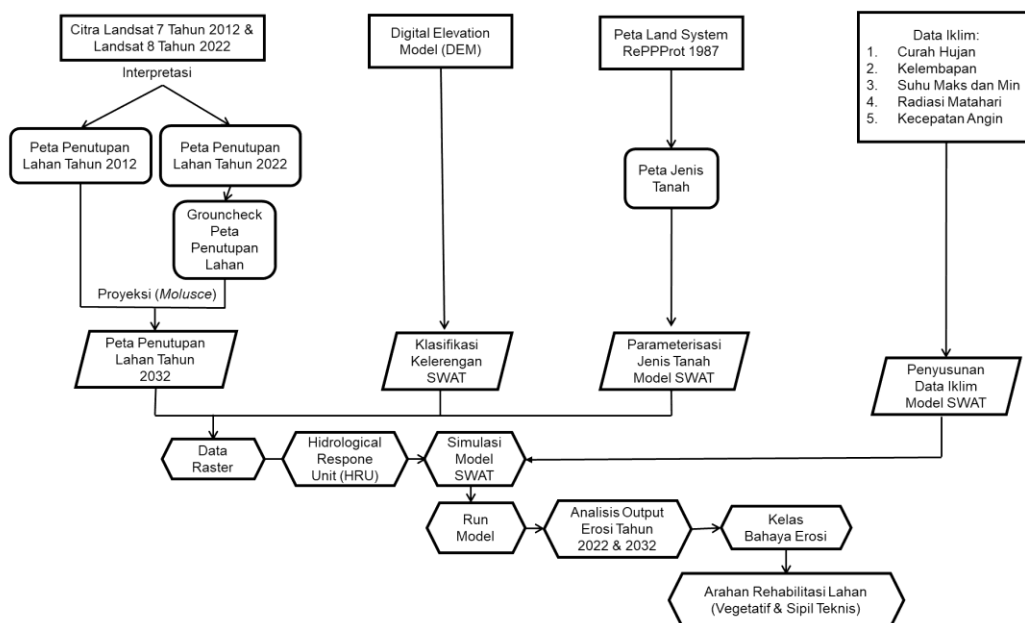
Tahapan penelitian ini terdiri atas empat tahapan utama yaitu penentuan batas lokasi penelitian, proyeksi perubahan penutupan tahun 2032, simulasi model SWAT untuk analisis laju erosi dan membuat arahan rehabilitasi dan konservasi tanah dan air di Sub DAS Minraleng.

Dalam penelitian ini, erosi sebagai indikator utama dalam menganalisis output yang diperoleh dari SWAT. Erosi dipengaruhi oleh faktor curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, dan penutupan lahan. Dalam tahapan pelaksanaan ini dilakukan dua kali proses *running model* untuk memperoleh hasil erosi dengan menggunakan penutupan lahan tahun 2022 dan penutupan lahan proyeksi tahun 2032.

Pembuatan *Hydrological Response Unit* (HRU), yang merupakan unit terkecil dalam pemodelan SWAT untuk analisis hidrologi pada suatu DAS, dengan menggunakan data penutupan lahan hasil interpretasi citra landsat 8 tahun 2022, data jenis tanah, data Digital Elevation Model (DEM) dan Data Iklim. Pembuatan HRU kedua dengan menggunakan data hasil proyeksi penutupan lahan tahun 2032. Hasil Output HRU dari masing-masing tahapan ini yang kemudian akan di analisis tingkat erosi pada penutupan lahan yang berubah sehingga dapat diperoleh kesimpulan seberapa besar pengaruhnya terhadap perubahan tutupan lahan. Selain itu, hasil yang diperoleh dapat menjadi acuan penentuan wilayah yang memiliki potensi untuk dilakukan kegiatan rehabilitasi.


2.3.1 Penetapan Batas Lokasi Penelitian

Penentuan batas lokasi penelitian dilakukan dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan data Aster DEM 30M tahun 2011 resolusi 30 meter.




Gambar 2. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Keterangan:

 Data awal (Input)

 Data yang akan diolah

 Keluaran (Hasil) dari Data Awal

 Tahapan Proses

2.3.2 Proyeksi Perubahan Penutupan Lahan

a) Pengumpulan Data

Citra satelit yang digunakan yaitu citra Landsat 7 ETM⁺ tahun 2012 dan citra Landsat 8 OLI/TIRS tahun 2022. Citra landsat tersebut digunakan dalam pembuatan peta penutupan lahan. Peta penutupan lahan diperoleh dari interpretasi yang ditetapkan berdasarkan pola dan karakteristik (rona, warna, bentuk dan tekstur) pada citra tersebut. Citra tersebut dapat diunduh melalui website <http://earthexplorer.usgs.gov>.

b) Interpretasi Citra

Setelah melakukan pengumpulan data citra Landsat yang diperlukan maka selanjutnya dilakukan interpretasi citra. Proses interpretasi citra Landsat 7 ETM⁺ tahun 2012 dan citra Landsat 8 OLI/TIRS tahun 2022 dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1) Penggabungan Band (Layer Stacking)

Penggabungan band Landsat dilakukan untuk memudahkan identifikasi warna penutupan/penggunaan lahan pada wilayah penelitian. Penggabungan band citra Landsat 7 ETM⁺ tahun 2012 dilakukan dengan menggabungkan band 5, band 4 dan band 3 (RGB) dan citra Landsat 8 OLI/TIRS tahun 2022 dilakukan dengan menggabungkan

band 6, band 5 dan band 4 (RGB). Hasil penggabungan band selanjutnya digunakan untuk melakukan interpretasi citra. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 5.

2) Memotong Citra (*Cropping*)

Pemotongan citra (*cropping*) dilakukan untuk memotong citra sesuai dengan batas wilayah penelitian, sehingga pengolahan data citra lebih terfokus pada lokasi penelitian. Citra Landsat yang akan dipotong ditumpang tindihkan dengan Sub DAS Minraleng yang telah diolah dengan menggunakan data ASTER DEM 30M tahun 2011 resolusi 30 meter.

3) Interpretasi Citra

Klasifikasi citra secara digital merupakan suatu pengkelasan piksel ke dalam suatu kategori tutupan lahan tertentu. Secara garis besar proses pengkelasan meliputi klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dan klasifikasi tak terbimbing (*unsupervised classification*). Klasifikasi terbimbing lebih menekankan pada kemampuan pengkategorian spektrum obyek berdasarkan interpretasi visual yang dilakukan oleh analis, sedangkan klasifikasi tidak terbimbing mengarah pada proses pengkelasan oleh perangkat lunak berdasarkan pada nilai digital pada setiap piksel citra.

Interpretasi citra Landsat tahun 2012 dan 2022 dilakukan secara visual-manual. Interpretasi citra secara digital tidak dilakukan karena citra Landsat memiliki resolusi sedang yaitu 30 meter x 30 meter. Interpretasi citra menghasilkan peta penutupan/penggunaan lahan tahun 2012 dan 2022. Dasar penentuan kelas penutupan lahan yang digunakan dalam interpretasi citra Landsat yaitu berdasarkan Badan Standarisasi Nasional Indonesia (BSNI) 7645:2010 kelas penutupan lahan.

c) Uji Akurasi Hasil Interpretasi Citra

Uji akurasi interpretasi citra digunakan untuk mengetahui sejauh mana keakuratan interpretasi citra yang telah dilakukan. Uji akurasi merupakan perbandingan antara data hasil interpretasi citra dengan kondisi lapangan. Model yang digunakan untuk menguji besarnya akurasi seperti *overall accuracy* dan *kappa accuracy* (Olofsson et al., 2014; Rijal, 2016). Perhitungan akurasi interpretasi citra dilakukan dengan metode *confusion matrix*. *Confusion matrix* digunakan sebagai langkah awal dalam mendeskripsikan perbedaan dan teknik analisis statistik untuk menilai akurasi peta (Rijal, 2016). Pada *confusion matrix*, data hasil interpretasi citra dan data hasil pengecekan lapangan disusun dalam sebuah tabel perbandingan persentase. Tingkat keakuratan interpretasi citra yang dapat diterima yaitu 85% (Lillesand et al., 1993). Hal ini berarti 85 dari 100 titik sampel yang telah ditetapkan sesuai dengan keadaan lapangan.

$$\text{Overall Accuracy (OA)} = \frac{X}{N} \times 100\%$$

Keterangan: X = Jumlah nilai diagonal matriks
N = Jumlah Sampel matriks

Tabel 1. Tabel Confusion Matrix

	Data Acuan (Pengecekan Lapangan)			Total Kolom
	A	B	C	
Data Klasifikasi Citra	A	X_n		X_{K+}
	B			
	C			X_{KK}
Total Baris		X_{+K}		N

d) Proyeksi Perubahan Penutupan Lahan

Proyeksi perubahan penutupan lahan pada penelitian ini menggunakan aplikasi Quantum GIS yang terintegrasi dengan *Plugin Molusce*. *Molusce* sendiri menggunakan *cellular automata* untuk memprediksi perubahan lahan atas dasar pengamatan tahun tertentu (dalam penelitian ini adalah tahun 2012 dan 2022). Pola Perubahan penutupan lahan yang terjadi antara tahun 2012 sampai 2022 menjadi variabel untuk melakukan proyeksi penutupan lahan tahun 2032.

2.3.3 Pemodelan SWAT untuk Analisis Laju Erosi

a) Penutupan Lahan

Pengumpulan data penutupan lahan dari data citra satelit. menggunakan citra landsat 7 untuk tahun 2012 dan citra landsat 8 untuk tahun 2022. Citra tersebut dapat di download secara gratis di website <http://earthexplorer.usgs.gov>. Citra landsat tersebut digunakan dalam pembuatan peta penutupan lahan. Peta penutupan lahan diperoleh dari interpretasi yang ditetapkan berdasarkan pola dan karakteristik (rona, warna, bentuk dan tekstur) pada citra tersebut. Proses interpretasi citra dilakukan dalam dua tahap yaitu *pre-processing* dan *classification* (Rijal, 2016). Dalam pemodelan SWAT, data penutupan lahan yang digunakan ada dua yaitu penutupan lahan tahun 2022 dan penutupan lahan tahun 2032 hasil dari proyeksi penutupan lahan yang telah dilakukan.

b) Jenis Tanah

Data jenis tanah diperoleh dari data sistem lahan (landsystem) *Regional Physical Project for Transmigration* (RePPPProt) Badan Kordinasi Survey dan Pemetaan Nasional Tahun 1987 dan Data Soil USDA (*United States Department of Agriculture*). Jenis tanah pada lokasi penelitian akan dijadikan sebagai parameter dalam penggunaan Model SWAT.

Parameter jenis tanah yang diperoleh dalam menjalankan SWAT antara lain Jumlah lapisan, Porositas Tanah, Kelompok hidrologi tanah, Kedalaman akar (mm), Berat Jenis Tanah (g/cm^3), Kelas tekstur tanah, Kandungan bahan organik tanah (%), Kandungan pasir, debu, liat (%), Nilai albedo tanah, pH Tanah, dan Nilai erodibilitas tanah.

c) Kelerengan

Data kelerengan akan dibuat dari data DEM yang digunakan dalam pembuatan delinasi batas DAS. Proses pembuatan data kelerengan dan elevasi dilakukan menggunakan sistem informasi geografis (SIG). Klasifikasi kelas lereng yang digunakan dalam

penelitian ini adalah 0-8%, 8-15%, 15-25%, 25-45%, dan lebih dari 45 % (BP Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial, 2013).

d) Data Iklim

Data iklim didapatkan dari data global terkait yaitu Power Larc NASA. Data iklim tersebut dapat di peroleh melalui website <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Data iklim yang dibutuhkan berupa data (curah hujan, temperatur, radiasi matahari, kelembaban udara, kecepatan angin) yang merupakan perhitungan harian.

Pembuatan peta iklim berdasarkan metode poligon thiessen yang merupakan area yang dipengaruhi oleh titik kordinat stasiun di Sub DAS Minraleng. Poligon ini merupakan pendekatan terhadap informasi titik yang diperluas (titik menjadi poligon). Proses pembuatan peta iklim dengan metode thiessen dilakukan menggunakan sistem informasi geografis (SIG).

e) Pembentukan HRU (*Hydrological Response Unit*)

HRU merupakan unit terkecil dalam skala analisis yang dilakukan pada pemodelan SWAT. Setiap lokasi HRU bersifat unik dalam respon terhadap kondisi hidrologinya, seperti kondisi runoff, erosi, penyimpanan air tanah, aliran bawah tanah, neraca air dan lain sebagainya. HRU tersusun atas kombinasi data tutupan lahan, data jenis tanah dan data kelas lereng. Selanjutnya dikelompokkan pada setiap wilayah DAS. Data tutupan lahan dan jenis tanah yang digunakan dalam analisis HRU berformat raster ESRI sedangkan klasifikasi kelas lereng berasal dari dataset DEM yang digunakan untuk membuat deliniasi batas DAS. Dataset yang digunakan harus menggunakan sistem proyeksi yang sama (Ditjen Bina Pengelolaan DAS & Perhutanan Sosial, 2014).

f) Input Data Iklim

Penginputan data iklim dilakukan setelah analisis *Hydrological Response Unit* (HRU) selesai. Pada tahap ini dilakukan penginputan file WGN (*Weather Generator Data*), Data Series Curah Hujan (mm), Temperatur Udara Maksimum Dan Minimum (°C), Radiasi Matahari (MJ/m²/hari), Kelembaban Udara (%) dan Kecepatan Angin (m/dtk). Semua data yang diinput merupakan periode harian yang sudah dalam format txt untuk disertakan dalam simulasi pemodelan SWAT.

g) Simulasi Model SWAT

Proses simulasi dilakukan setelah proses penggabungan HRU dengan data iklim telah selesai. Proses simulasi dijalankan berdasarkan periode harian. Menjalankan model SWAT di QSWAT dapat dilakukan dengan menggunakan menu SWAT Simulation dengan syarat tahapan *Watershed Delineation*, *HRU Analysis* dan *Write Input Tables* telah selesai dengan baik.

Setelah simulasi selesai dilakukan dengan menggunakan proses *Run SWAT*, selanjutnya adalah 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.

h) Kalibrasi Model SWAT

Kalibrasi bertujuan agar output dari suatu model yang digunakan mendekati output observasi. Apapun model yang digunakan sangat penting untuk di kalibrasi. Hal ini terkait dengan ketetapan metode tersebut dalam memberikan gambaran terhadap proses yang sebenarnya terjadi di lapangan. Apabila hasil model telah memberikan gambaran yang baik terhadap hasil observasi maka hasil model tersebut dapat digunakan untuk analisis selanjutnya. Model tersebut telah cukup baik apabila hasil model tersebut memiliki kemiripan dengan hasil observasi (Sujarwo et al., 2020).

Salah satu perhitungan nilai keakuratan model dengan cara memprediksi debit dengan fungsi objektif. Fungsi objektif yang dapat digunakan adalah koefisien determinasi (R^2). Nilai koefisien determinasi yang mendekati 1 menunjukkan hubungan yang erat antara hasil model dengan hasil observasi. Debit observasi didapatkan dari Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Jeneberang Saddang tahun 2022. Metode perhitungan untuk melihat keakuratan pola hasil pemodelan, yaitu:

$$R^2 = \frac{[\sum_i^n (Q_{Obs,i} - \bar{Q}_{Obs,i})(Q_{Mod,i} - \bar{Q}_{Mod,i})^2]}{\sum((Q_{Obs,i} - \bar{Q}_{Obs,i}))^2 \sum((Q_{Mod,i} - \bar{Q}_{Mod,i}))^2}$$

Keterangan :

$Q_{Obs,i}$: debit observasi (m^3/s) $\bar{Q}_{Obs,i}$: debit observasi rata-rata (m^3/s)
 $Q_{Mod,i}$: debit model (m^3/s) $\bar{Q}_{Mod,i}$: debit model rata-rata (m^3/s)

i) Analisis Erosi

Erosi diperkirakan untuk masing-masing HRU dengan *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE). MUSLE menggunakan jumlah aliran permukaan untuk simulasi erosi (Williams, 1975). Hasil sedimen pada model SWAT dihitung menggunakan persamaan (Arnold et al., 2012):

$$sed = 11.8 \cdot (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{hru})^{0.56} \cdot K_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot CFRG$$

Keterangan:

Sed : Hasil sedimen pada hari tertentu (metrik ton);
 Q_{surf} : Volume limpasan permukaan (mm H_2O/ha);
 q_{peak} : Laju limpasan puncak (m^3/s); $area_{hru}$: Luas HRU (ha);
 K_{USLE} : Faktor erodibilitas tanah (0,013 metrik ton m^2 jam/(m^3 -metrik ton cm-)),
 C_{USLE} : Faktor tutupan dan pengelolaan; P_{USLE} : Faktor Konservasi;
 LS_{USLE} : Faktor topografi; dan $CFRG$: Faktor fragmen kasar.

Bedasarkan laju erosi yang diperoleh melalui tahapan analisis maka dapat ditentukan tingkat erosi dengan mengacu pada klasifikasi tingkat erosi yang tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Tingkat Erosi Tanah

Solum Tanah (Cm)	Kelas Bahaya Erosi				
	SR	R	S	B	SB
	Erosi (Ton/Ha/Tahun)				
	<15	15-60	60-180	180-480	>480
Dalam (>90)					
Sedang (60-90)					
Dangkal (30-60)					
Sangat Dangkal (<30)					

Sumber: Permenhut No. P32/Menhut-II/2009

Keterangan :

SR (Sangat Ringan), R (Ringan), S (Sedang), B (Berat), SB (Sangat Berat)

2.3.4 Arahan Rehabilitasi Lahan di Sub DAS Minraleng

Setelah hasil erosi telah diperoleh dan diketahui kelas besarnya, maka perlu dibuat arahan rehabilitasi lahan dengan mengacu pada Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung Nomor P.8/PDASHL/SET/KUM.1/8/2018 tentang Petunjuk Teknis Internalisasi Rencana Tata Ruang Wilayah. Terdapat dua metode rehabilitasi yang dapat diterapkan guna meminimalisir tingkat erosi. Metode yang pertama adalah metode vegetatif seperti kegiatan Penghijauan, Agroforestry, Perkebunan atau Hutan Rakyat. Sedangkan metode yang kedua adalah metode mekanik atau sipil teknis yakni melakukan pembangunan Dam Penahan, Teras Gulud, Teras Individu, dan Teras Bangku.