

**PREDIKSI EROSI DAN SEDIMENTASI PADA DAERAH TANGKAPAN AIR BENDUNGAN
ROTIKLOT DENGAN MODEL *SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL* (SWAT)**

***PREDICTION OF EROSION AND SEDIMENTATION IN THE CATCHMENT AREA OF THE
ROTIKLOT DAM USING SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL (SWAT)***

Arnoldus Nama^{*1}, Onisius Loden², Dedy Ardianto Fallo³, Welem MWL Daga⁴

^{1,2,3,4}Dosen, Teknik Perancangan Irigasi dan Penanganan Pantai, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Kupang
Korespondensi: *n.arnold.ld@gmail.com

ABSTRAK

Daerah Tangkapan Air (DTA) Bendungan Rotiklot terletak pada Kabupaten Belu, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Penelitian ini bertujuan untuk Memprediksi besarnya laju Erosi dan sedimentasi dengan metode *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), serta menentukan tingkat bahaya erosi (TBE). Berdasarkan hasil pemodelan diperoleh besarnya erosi tahunan rata-rata pada DTA bendungan Rotiklot 18,5 ton/ha/tahun. Hasil perhitungan TBE menunjukkan bahwa lahan di DTA Rotiklot terdiri dari 2 (dua) kelas TBE yaitu TBE sedang dan TBE Berat. Luas lahan dengan TBE sedang adalah sebesar 549,55 ha, dan luas lahan dengan dengan TBE berat adalah sebesar 587,55 ha. Debit sedimen tahunan rata-rata hasil pemodelan pada outlet DTA yang masuk ke bendungan adalah sebesar 3.797,04 Ton/Tahun, sedangkan sedimen total selama 28 tahun periode simulasi adalah sebesar 106.317,1 ton.

Kata Kunci: Erosi, Sedimentasi, Soil and Water Assessment Tool, Tingkat bahaya erosi

ABSTRACT

The Rotiklot Dam Catchment Area is located in Belu Regency, East Nusa Tenggara Province. This research aims to forecast the rates of erosion and sedimentation utilizing the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) method, as well as to assess the levels of erosion hazard present. According to the modeling outcomes, the average annual erosion rate within the Rotiklot Dam Catchment Area is calculated to be 18.5 tons/ha/year. The erosion hazard assessment indicates that the land within the Rotiklot Catchment Area is classified into two categories of erosion hazard levels: moderate and severe. Specifically, the area classified as having a moderate erosion hazard level encompasses 549.55 hectares, while the area categorized as having a severe erosion hazard level covers 587.55 hectares. The modeling results indicate that the average annual sediment discharge at the outlet of the catchment area leading to the dam is 1,865.75 tons per year. Over the course of the 28-year simulation period, the cumulative sediment total amounts to 106,317.1 tons.

Keywords: Erosion rate, Erosion hazard levels, Sedimentation, Soil and Water Assessment Tool

PENDAHULUAN

Erosi lahan dapat berdampak pada aspek

ekologi dan ekonomi, seperti menipisnya lapisan tanah ata (*top-soil*) yang mengakibatkan merosotnya produktivitas lahan dan meningkatnya

muatan sedimen (*sediment loads*) (Anasiru, 2015). Banyak proyek sumber daya air memerlukan analisis erosi dan sedimen. Perkiraan laju erosi dan sedimentasi berguna untuk memperkirakan usia guna waduk, menemukan lokasi atau daerah yang rentan terhadap erosi (tingkat bahaya erosi tinggi), dan memastikan kelestarian sumberdaya alam (Sabale, *et.al.* 2021). Terkait bendungan, erosi tanah telah menjadi masalah serius dalam beberapa dekade terakhir (Kateb, *et.al.* 2020). Secara khusus, masalah sedimentasi merupakan permasalahan umum bagi waduk karena mempengaruhi kapasitas penyimpanan dan menurunkan kualitas air.

Sedimentasi pada waduk, berasal dari erosi lahan yang terjadi pada daerah tangkapan air. Besarnya kehilangan tanah (erosi) berbeda antara satu lokasi dengan lokasi yang lain tergantung pada karakteristik fisik dan biofisik daerah aliran sungai (Djebou, 2018). Laju erosi pada suatu daerah tangkapan air tergantung pada banyak faktor, baik faktor fisik maupun biofisik. Oleh karena itu diperlukan pemahaman yang mendalam terhadap karakteristik DAS untuk mengurangi laju erosi dalam DAS bersangkutan.

Permasalahan yang umum terjadi pada bendungan adalah kurangnya fasilitas pengukuran debit sedimen secara langsung. Pada umumnya, bendungan-bendungan tidak dilengkapi dengan alat pengukur debit sedimen, termasuk bendungan Rotiklot juga tidak dilengkapi dengan alat pengukur sedimen. Oleh karena itu, sedimen yang masuk ke waduk bendungan tidak dapat diukur secara langsung. Permasalahan sedimentasi apabila tidak ditangani secara baik dapat menimbulkan dampak negatif. Sedimentasi diperkirakan menyebabkan sekitar 0,5–1,0% hilangnya penyimpanan air global setiap tahunnya. Selain itu, biaya penggantian reservoir (waduk) yang hilang diperkirakan melebihi US\$13 miliar, tidak termasuk dampak lingkungan dan sosial ekonomi lainnya (Central Water Commission, 2020). Oleh karena itu, pemodelan proses hidrologi DAS, seperti limpasan, erosi dan sedimen, sangat membantu dalam mengelola dan melindungi reservoir dan sumber daya alam lainnya (Abebe T, Gebremariam B, 2019).

Bendungan Rotiklot adalah bendungan ketiga terbesar di Nusa Tenggara Timur dengan kapasitas tampungan efektif 2,67 juta meter kubik. Fungsi dari bendungan Rotiklot adalah untuk melayani kebutuhan air bersih masyarakat di sekitar Pelabuhan Atapupu dan pengembangan

daerah irigasi untuk padi dan palawija. Kawasan bendungan Rotiklot merupakan daerah dengan tingkat curah hujan tahunan rerata lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lain di Nusa Tenggara Timur. Curah hujan tahunan daerah bendungan Rotiklot berkisar antara 1.200 – 1.400 mm dan kemiringan lereng berkisar antara 26-40% (Sari, dkk, 2010). Kedua faktor tersebut adalah parameter yang sangat berpengaruh terhadap erosi dan sedimentasi dalam suatu DAS. Oleh karena itu penting untuk mengkaji laju erosi dan sedimentasi pada DAS Rotiklot, guna mengetahui sebaran erosi, Tingkat bahaya erosi dan sedimentasi. Dengan mengetahui sebaran laju erosi dan Tingkat bahaya erosi, dapat ditentukan strategi penanganan yang tepat, baik berupa konservasi tanah dengan Teknik vegetatif maupun mekanik.

TINJAUAN PUSTAKA

Pendugaan laju erosi dan sedimen dengan Model SWAT

Soil Water Assessment Tool (SWAT) merupakan model hidrologi skala DAS (Daerah Aliran Sungai). Model SWAT merupakan sebuah model hidrologi berbasis fisik, deterministik, dan kontinyu pada skala Daerah Aliran Sungai (DAS). Dr. Jeff Arnold adalah yang pertama mengembangkan model ini pada tahun 1990-an di *Agricultural Research Service* (ARS) dari *United States Department of Agriculture* (USDA). Model SWAT dapat memprediksi akibat dari manajemen lahan pertanian terhadap air, sedimentasi, dan jumlah bahan kimia pada suatu area DAS dengan mempertimbangkan variasi jenis tanah, penggunaan lahan, serta kondisi manajemen suatu DAS (Neitsch S. L, et.al, 2011).

Model SWAT menggunakan *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE), merupakan versi modifikasi dari *Universal Soil Loss Equation* (USLE) untuk menghitung erosi. MUSLE menggunakan energi limpasan untuk memprediksi erosi dan tidak memerlukan *Sedimen delivery ratio* (SDR) karena limpasan mewakili energi yang digunakan dalam pelepasan dan pengangkutan sedimen. Model SWAT menghitung erosi berdasarkan rumus MUSLE (Neitsch S. L, et.al, 2011):

$$Sed = 11,8 (Q_{surf} \times q_{peak} \times area_{hru})^{0,56} \quad (1)$$
$$\frac{K_{USLE} \times C_{USLE} \times P_{USLE} \times LS_{USLE} \times CFR}{LS_{USLE} \times CFR}$$

Dimana:

Sed = Sediment yield (ton)
 Q_{surf} = Volume limpasan permukaan (mm/ha)
 q_{peak} = Debit puncak (m³/det)
 $area_{hru}$ = Luas DAS (ha)
 K_{USLE} = Erodibilitas tanah
 C_{USL} = Faktor pengelolaan tanaman
 P_{USLE} = Faktor pengelolaan lahan
 LS_{USLE} = Faktor topografi (panjang dan kemiringan lereng)
 $CFRG$ = Fungai kekasaran material tanah

Tingkat bahaya erosi (TBE)

Tingkat bahaya erosi (TBE) adalah perbandingan antara laju erosi di suatu satuan lahan (*land unit*) dan kedalaman solum tanah pada satuan lahan tersebut. TBE diklasifikasi menjadi 5 (lima) kelas sesuai klasifikasi dari Kementerian Kehutanan (Kementerian Kehutanan, 2009), yaitu sangat ringan, ringan, sedang, berat dan sangat berat. Klasifikasi tingkat bahaya erosi dapat dilihat pada Tabel 1.

WGN (Weather Generator/Generator Cuaca)

SWAT+ memerlukan perhitungan parameter statistik data cuaca. File generator cuaca akan disimpan dalam basis data (*database*) dengan nama WGN_user. Berikut adalah parameter statistik beserta persamaannya (swat.tamu.edu. 2024) :

- 1) Suhu Maksimum Harian Rata-rata dalam Bulan ($T_{mp_max_ave}$)

$$\mu_{mx,mon} = \frac{\sum_{d=1}^N T_{mx,mon}}{N} \quad (2)$$

Dimana: $\mu_{mx,mon}$ adalah rata-rata suhu maksimum harian untuk dalam bulan (°C); $T_{mx,mon}$ adalah suhu maksimum harian dalam bulan (°C); dan N adalah jumlah data suhu maksimum harian dalam bulan.

- 2) Deviasi Standar untuk Suhu Maksimum Harian dalam Bulan ($T_{mp_max_sd}$)

$$\sigma_{mx,mon} = \sqrt{\frac{\sum_{d=1}^N (T_{mx,mon} - \mu_{mx,mon})^2}{N-1}} \quad (3)$$

Dimana: $\sigma_{mx,mon}$ adalah deviasi standar untuk suhu maksimum harian dalam bulan (°C);

$T_{mx,mon}$ adalah suhu maksimum harian dalam bulan (°C); $\mu_{mx,mon}$ adalah rata-rata suhu maksimum harian untuk bulan tersebut (°C); dan N adalah jumlah data suhu maksimum harian dalam bulan.

- 3) Rata-rata atau Suhu Minimum Harian untuk Bulan ($T_{mp_min_ave}$)

$$\mu_{mn,mon} = \frac{\sum_{d=1}^N T_{mn,mon}}{N} \quad (4)$$

Di mana: $\mu_{mn,mon}$ adalah rata-rata suhu minimum harian dalam bulan (°C); $T_{mn,mon}$ adalah suhu minimum harian dalam bulan (°C); dan N adalah jumlah data suhu minimum harian dalam bulan

- 4) Deviasi Standar untuk Suhu Minimum Harian dalam Bulan ($T_{mp_min_sd}$)

$$\sigma_{mn,mon} = \sqrt{\frac{\sum_{d=1}^N (T_{mn,mon} - \mu_{mn,mon})^2}{N-1}} \quad (5)$$

Di mana: $\sigma_{mn,mon}$ adalah deviasi standar untuk suhu minimum harian dalam bulan (°C); $T_{mn,mon}$ adalah suhu minimum harian pada hari ke-d dalam bulan (°C); $\mu_{mn,mon}$ adalah rata-rata suhu minimum harian untuk bulan tersebut (°C); dan N adalah jumlah data suhu minimum harian dalam bulan.

- 5) Pcp_ave (Rata-rata atau Mean Curah Hujan Bulanan)

$$R_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N R_{day,mon}}{yrs} \quad (6)$$

Dimana: R_{mon} adalah rata-rata curah hujan bulanan (mm H₂O); $R_{day,mon}$ adalah curah hujan harian pada hari ke-d dalam bulan (mm H₂O); N adalah jumlah data hujan dalam bulan; dan yr adalah jumlah tahun catatan curah hujan harian yang digunakan dalam perhitungan.

- 6) Deviasi Standar untuk Curah Hujan Harian dalam Bulan (Pcp_sd)

$$\sigma_{mon} = \sqrt{\frac{\sum_{d=1}^N (R_{day,mon} - R_{mon})^2}{N-1}} \quad (7)$$

Dimana: σ_{mon} adalah deviasi standar untuk curah hujan harian dalam bulan (mm H₂O);

Tabel 1. Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi

Erosi	Kelas Bahaya Erosi (ton/ha/tahun)				
Solum Tanah (cm)	I(<15)	II(15-60)	III(60-180)	IV(180-480)	V(>480)
Dalam (>90)	SR	R	S	B	SB
Sedang (60-90)	R	S	B	SB	SB
Dangkal (30-60)	S	B	SB	SB	SB
Sangat dangkal (<30)	B	SB	SB	SB	SB

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

Keterangan :

SR = Sangat Ringan

S = Sedang

SB = Sangat Berat

R = Ringan

B = Berat

$R_{day,mon}$ adalah curah hujan harian pada hari ke-d dalam bulan (mm H₂O); R_{mon} adalah rata-rata curah hujan untuk bulan tersebut (mm H₂O); dan N adalah jumlah dat hujan harian untuk dalam bulan.

- 7) Koefisien kepengcengan untuk Curah Hujan Harian dalam Bulan (Pcp_skew)

$$g_{mon} = \frac{N * \sum_{d=1}^N (R_{day,mon} - R_{mon})^3}{(N-1)*(N-2)*(\sigma_{mon})^3} \quad (8)$$

Dimana: g_{mon} adalah koefisien kepengcengan untuk curah hujan dalam bulan; N adalah jumlah data hujan harian dalam bulan; $R_{day,mon}$ adalah curah hujan harian pada hari ke-d dalam bulan (mm H₂O); R_{mon} adalah rata-rata curah hujan untuk bulan tersebut (mm H₂O); σ_{mon} adalah deviasi standar untuk curah hujan harian dalam bulan (mm H₂O).

- 8) Probabilitas Hari Basah Mengikuti Hari Kering dalam Bulan (Wet_dry)

$$P_i \left(\frac{W}{D} \right) = \frac{days_{W/D,i}}{days_{dry,i}} \quad (9)$$

Dimana: P_i (W/D) adalah probabilitas hari basah mengikuti hari kering dalam bulan ke-i; $days_{W/D,i}$ adalah jumlah hari di bulan ke-i di mana hari basah (lebih dari 0 mm curah hujan) mengikuti hari kering (0 mm curah hujan) selama periode pencatatan; dan $days_{dry,i}$ adalah jumlah total hari kering dalam bulan ke-i selama periode pencatatan.

- 9) Probabilitas Hari Basah Mengikuti Hari Basah dalam Bulan (Wet_wet)

$$P_i \left(\frac{W}{W} \right) = \frac{days_{W/W,i}}{days_{wet,i}} \quad (10)$$

Dimana: P_i (W/W) adalah probabilitas hari basah mengikuti hari basah dalam bulan ke-i; $days_{W/W,i}$ adalah jumlah hari di bulan ke-i di mana hari basah (lebih dari 0 mm curah hujan) mengikuti hari basah lainnya selama periode pencatatan; dan $days_{wet,i}$ adalah jumlah hari basah dalam bulan ke-i selama periode pencatatan.

- 10) Rata-rata Jumlah Hari Hujan dalam Sebulan (Pcp_days)

$$d_{wet,i} = \frac{days_{wet,i}}{yrs} \quad (11)$$

Dimana: $d_{wet,i}$ adalah rata-rata jumlah hari curah hujan dalam bulan ke-i;

$days_{wet,i}$ adalah jumlah hari basah (dengan curah hujan lebih dari 0 mm) dalam bulan ke-i selama seluruh periode pencatatan; dan yrs adalah jumlah tahun pencatatan data.

- 11) Curah Hujan Maksimum dalam 0.5 Jam (30 Menit) dalam Sebulan (Pcp_hhr)

Parameter ini menunjukkan nilai curah hujan tertinggi yang tercatat dalam periode 30 menit selama bulan tertentu.

- 12) Rata-rata Radiasi matahari Harian untuk Sebulan (Slr_ave)

$$\mu_{rad,mon} = \frac{\sum_{d=1}^N H_{day,mon}}{N} \quad (12)$$

Dimana: $\mu_{rad,mon}$ adalah rata-rata radiasi matahari harian untuk bulan ke-i (MJ/m²/hari); $H_{day,mon}$ adalah total radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi pada hari ke-i dalam bulan ke-i (MJ/m²/hari); dan N adalah jumlah catatan radiasi matahari harian untuk bulan ke-i.

- 13) Kelembapan relatif ; Rata-rata Suhu Titik Embun Harian untuk Setiap Bulan (°C) atau Kelembapan Relatif (fraksi) (dew_ave)

$$\mu_{dew,mon} = \frac{\sum_{d=1}^N T_{dew,mon}}{N} \quad (13)$$

Dimana: $\mu_{dew,mon}$ adalah rata-rata suhu titik embun harian untuk bulan ke-i (°C); $T_{dew,mon}$ adalah suhu titik embun pada hari ke-i dalam bulan ke-i (°C); dan N adalah jumlah catatan suhu titik embun harian untuk bulan ke-i.

- 14) Rata-rata Kecepatan Angin Harian untuk Setiap Bulan (m/det) (Wnd_ave)

$$\mu_{wnd,mon} = \frac{\sum_{d=1}^N T_{wnd,mon}}{N} \quad (14)$$

dimana: $\mu_{wnd,mon}$ adalah Rata-rata kecepatan angin harian dalam bulan (m/s); $T_{wnd,mon}$ adalah Kecepatan angin rata-rata pada hari ke-d dalam bulan ke-mon (m/s); dan N adalah jumlah catatan kecepatan angin harian dalam bulan

METODE

Lokasi Penelitian

Secara administratif Bendungan Rotiklot berada di Desa Fatuketi, Kecamatan Kakuluk

Mesak, Kabupaten Belu, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Bendungan ini berada pada daerah aliran sungai (DAS) Mota Rotiklot dengan luas DAS 11,69 km². Kapasitas tampung total bendungan

sebesar 3,30 juta meter kubik dengan luas daerah genangan 24,94 hektar dan tampungan mati (*Deadn Storage*) sebesar 0,57 juta meter kubik

Tabel 2. Jenis dan Sumber Data

No	Jenis Data	Sumber Data
1	DEMNAS (<i>Digital Elevation Model Nasional</i>)	BIG (https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/)
2	Tata guna Lahan	https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/ Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP)
3	Peta Jenis Tanah	
4	Curah hujan	
5	Klimatologi (temperatur maks-min, kelembaban relative, kecepatan angin, radiasi matahari)	BWS Nusa Tenggara II https://power.larc.nasa.gov/

serta tampungan efektif sebesar 133 juta meter kubik yang tidak hanya berfungsi mengairi 139 hektar lahan irigasi melainkan juga dipakai untuk pembangkit listrik tenaga air, tempat wisata dan untuk memenuhi kebutuhan air baku masyarakat sebesar 40 liter/detik di sekitar Pelabuhan Atapupu dan Desa Fatuketi (Biro Komunikasi Publik PUPR, 2019; Sari dkk, 2020). Kawasan hulu daerah tangkapan air bendungan berada di wilayah Kecamatan Tasifeto Barat. Sungai utama yang mengalir di DTA bendungan Rotiklot bermuara di Pelabuhan Atapupu, bagian utara kabupaten Belu.

Data dan Sumber Data

Beberapa jenis data spasial dan non spasial telah digunakan dalam penelitian ini: (a) Model elevasi digital (*Digital Elevation Model / DEM*) yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial Indonesia (file raster 8m × 8m); (b) Peta Tata guna lahan, bersumber ESRI (*Environment Science & Research Institute*) (file raster, 10m x 10m); (c) Peta jenis tanah (vektor) Kabupaten Belu yang bersumber dari Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP); (d) Data hujan, bersumber dari Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II; dan (e) Data iklim, bersumber dari *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Data dan sumber data disajikan dalam Tabel 2.

Metode Analisa Data

Dalam penelitian ini, metodologi yang dikembangkan untuk memprediksi erosi dan sedimentasi terdiri dari tiga langkah utama.

Langkah pertama dimulai dengan menyiapkan basis data (*database*) model SWAT. Pemodelan menggunakan SWAT+ (*plugin* Aplikasi SWAT pada QGIS). SWAT+ membutuhkan data spasial dan data non spasial (data tabel). Data-data

tersebut dibuat dalam format tertentu menurut panduan SWAT+ untuk basis data input permodelan. Data spasial diolah untuk *input* SWAT+ dengan perangkat lunak QGIS, sedangkan data tabel diolah dengan *software weather generator (WGN) Parameters Estimation Tool* Dan MS Excell. Langkah kedua adalah simulasi. Simulasi menggunakan SWAT+ terdiri dari Delinasi DAS (*Watershed Delineation*), pembentukan dan Pendefinisian HRUs, dan Menjalankan (*running*) model SWAT+ di SWAT+ Editor. Langkah ketiga adalah interpretasi hasil keluaran SWAT+. Hasil SWAT+ bisa berupa file *.csv yang tersimpan dalam berkas *Scenario-Default-TextInOut*, dan juga tersimpan dalam *swatplus_output* dengan ekstensi *.sqlite, yang tersimpan dalam berkas *Scenario-Default-Result*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyiapan basis data (*database*) SWAT+

1. Generator Cuaca (*Weather Generator*)

Data iklim tidak langsung dapat digunakan untuk simulasi SWAT+, tetapi harus melewati pengolahan, dan dibuat dalam format tertentu, baik isi maupun tipe data, yang haru sesuai dengan format yang dapat dibaca oleh model SWAT+. Input data iklim dalam SWAT+ memerlukan

perhitungan statistik data iklim untuk disimpan dalam file generator cuaca (*weather generator*). Parameter-parameter tersebut dihitung menggunakan *software weather generator (WGN)*

Parameters Estimation Tool. Hasil perhitungan dan format tabel *Weather Generator* disajikan pada Gambar 1.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
id	wgn_id	month	tmp_max_ave	tmp_min_ave	tmp_max_sd	tmp_min_sd	pcp_ave	pcp_sd	pcp_skew	wet_dry	wet_wet	pcp_days	pcp_hhr	slr_ave	dew_ave	wnd_ave
1	1	1	28.1	24.5	1.4	0.55	255	10.9	2.4	0.44	0.98	29.7	13.6	39.3	0.85	2.63
2	1	2	27.7	24.31	1.2	0.54	258	11.9	2.3	0.46	0.98	27.3	15.4	39.1	0.86	2.63
3	1	3	28.2	24.11	1.19	0.7	157	8.4	3.5	0.42	0.95	27.9	11	37.5	0.84	2.05
4	1	4	29	23.74	1.17	0.87	79	7.2	6.4	0.26	0.91	22.4	7.9	34.5	0.81	2.25
5	1	5	29.2	23.09	1.25	1.15	40	4	6.2	0.17	0.87	18	4.7	31.1	0.78	3.05
6	1	6	29	22.13	1.36	1.26	25	3.8	11.8	0.14	0.87	15.3	3.8	29.3	0.75	3.5
7	1	7	29.3	21.32	1.02	1.16	11	2.3	11.4	0.13	0.81	12.5	2.1	30	0.72	3.59
8	1	8	30.4	21.23	1.14	1.18	4	0.8	13.4	0.09	0.8	9.9	0.7	32.8	0.67	3.23
9	1	9	32.5	22.19	1.11	1.36	6	1.4	14.6	0.07	0.83	8.8	1	36	0.63	2.61
10	1	10	33.8	24.07	1.15	1.28	19	2.1	6.1	0.14	0.8	12.7	2.4	38.2	0.62	2.02
11	1	11	33	25.42	2.17	0.72	81	5.6	4.2	0.32	0.88	21.8	6.4	39	0.66	1.53
12	1	12	29.9	25.1	2.12	0.75	198	9.9	3.2	0.63	0.96	29.1	12.3	39.1	0.79	2.02

Gambar 1. Hasil Perhitungan *Weather Generator*

File	Edit	View
<pre> rotcp.pcp: Hujan harian Rotiklot nbyr tstep lat lon elev 30 0 -9.08 124.84 282.72 1994 1 1.8 1994 2 1.44 1994 3 1.3 1994 4 0.27 1994 5 1.02 1994 6 2.47 1994 7 0.47 1994 8 2.76 1994 9 2.91 1994 10 2.98 1994 11 14.25 </pre>		

(a)

File	Edit	View
<pre> pcp.cli: Nama file hujan harian filename rotcp.pcp </pre>		

(b)

Gambar 2. (a) Data Curah Hujan dengan Nama File *rotcp.pcp*; (b) File *pcp.cil* yang memuat nama file data hujan

2. File cuaca (*weather file*)

Selain data parameter statistik iklim untuk generator cuaca, data iklim juga harus dibuat dalam file dengan format tertentu yang dapat dibaca oleh SWAT+. Data cuaca (temperature, hujan, kelembaban relatif, kecepatan angin, radiasi matahari), masing-masing dibuat dalam 2 (dua) file. Pertama adalah file data untuk masing-masing parameter cuaca dengan ekstensi *.tmp untuk data suhu, *.pcp untuk data hujan, *.hmd untuk data kelembaban relative, *.wnd untuk data kecepatan angin, dan *.slr untuk data radiasi matahari. File kedua yang berisi daftar nama data cuaca yang digunakan dalam simulasi dengan ekstensi *.cli. File-file tersebut harus diberi nama tmp.cil (diisi nama file data temperature), pcp.cli (diisi nama file data hujan), hmd.cli (diisi nama file data kelembaban relatif), slr.cli (diisi nama file data Radiasi/penyinaran), dan wnd.cli (diisi nama file data kecepatan angin). Simulasi SWAT+ tidak dapat menemukan file cuaca saat simulasi, apabila

nama file-file cuaca dibuat berbeda dengan yang terdapat dalam file dengan ekstensi *.cli. Semu file tersebut di atas harus disimpan dalam satu berkas. Format file curah hujan dengan nama file *rotcp.pcp* ditampilkan pada Gambar 2a. Gambar 2b adalah file *pcp.cil* yang berisi nama file data curah hujan (*rotcp.pcp*).

3. Penyiapan Data tata guna lahan

Data tataguna lahan untuk SWAT+ terdiri dari 2 (dua) jenis, yaitu data spasial (peta dengan format raster) dan data tabel (*lookup table*) dengan format file *.csv. Tataguna lahan dalam peta raster dapat dikenal oleh SWAT melalui data table (*lookup table*). Data tabel berisi kode penggunaan lahan dalam basis data SWAT+. Penomoran dalam data tabel harus konsisten dengan atribut pada peta yang telah dibuat. Sebagai contoh, pada Tabel 3, landuse nomor 1 pada data tabel harus sama dengan DN nomor 1 pada peta raster. Kode URML adalah kode kelas lahan (*landuse*) dalam basis data

SWAT+, yang menandakan lahannya berupa pemukiman (*Residential low density*).

Tabel 3. Data Tabel (*Lookup Table*) Tataguna Lahan

LANDUSE	SWAT_CODE
1	URML

LANDUSE	SWAT_CODE
2	BARR
3	AGRL
4	WATR
5	BARR
6	GRAR

Tabel 4. Jenis Tanah Menurut Klasifikasi Tanah Nasional dan Padanannya dari FAO

SPT	Id_Soil	PPT Bogor (1978/1982)	FAO	Kode FAO	SNAM
3	1	Gleisol Eutrik	Eutric Gleysol	Ge	Ge25-1a-612
4	2	Aluvial Ustik	Eutric Fluvisol	Je	Je62-2-3a-4518
16	3	Arenosol kambik	Cambic Arenosols	Qc	Qc2-1bc-176
17	4	Mediteran Ustik	Chromic Luvisols	Lc	Lc98-3c-4530
18	5	Mediteran Ustik	Chromic Luvisols	Lc	Lc98-3c-4530
29	6	Mediteran Ustik	Chromic Luvisols	Lc	Lc98-3c-4530
45	7	Kambisol Eutrik	Eutric Cambisols	Be	Be64-1-2a-461
46	8	Lateritik Rodik	Rhodic Ferralsols	Fr	Fr32-2-3c-4493

4. Penyiapan Peta Jenis Tanah

Data jenis tanah untuk pemodelan SWAT+ terdiri dari 2 (dua) jenis, yaitu data spasial (peta dengan format raster) dan data tabel (*lookup table*) dengan format file *.csv. Nama jenis tanah pada peta dari Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDLP) adalah jenis tanah berdasarkan klasifikasi tanah dari Pusat Penelitian Tanah (PPT) 1978/1982. Di dalam basis data tanah SWAT+, tidak tersedia jenis tanah dengan *properties*-nya dari klasifikasi tanah Nasional (PPT). Jenis tanah yang ada di dalam basis data SWAT+ beserta dengan sifat-sifat tanahnya tersedia untuk pengguna dari Amerika Serikat, terdiri dari STATSGO dan SSURGO; dan untuk pengguna dari luar Amerika Serikat tersedia jenis tanah menurut klasifikasi FAO dengan nama file *Global_user_Soil*. Untuk itu, jenis tanah dari klasifikasi tanah Nasional, harus dikonversi ke jenis tanah padanannya menurut FAO. Jenis tanah menurut klasifikasi tanah Nasional dan padanannya dari FAO disajikan pada Tabel 4. Pada kolom *Code_FAO* merupakan kode jenis tanah FAO yang dapat dilihat pada FAO map Unit. Sedangkan kolom *SNAM* merupakan kode jenis tanah yang terdapat dalam basis data tanah SWAT+ (*Global_user_soil*).

Tabel 5. Data Tabel (*Lookup Table*) Jenis Tanah

Id_Soil	SNAM
1	Ge25-1a-612

Id_Soil	SNAM
2	Je62-2-3a-4518
3	Vp61-3a-4584
4	Lc98-3c-4530
5	Lc98-3c-4530
6	Lc98-3c-4530
7	Lc98-3c-4530
8	Fr32-2-3c-4493

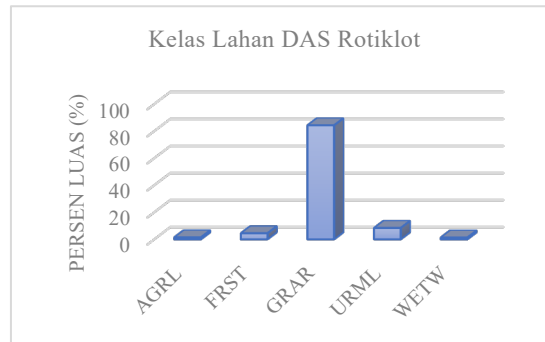
Jenis tanah dalam peta raster dapat dikenal oleh SWAT+ melalui data table (*lookup table*). Data tabel berisi kode jenis tanah dalam basisdata SWAT+. Penomoran dalam data tabel harus konsisten dengan atribut pada peta yang *telah* dibuat. Pada Tabel 5, jenis tanah dengan *id_soil* 1 pada data tabel adalah sama dengan *digital number* (DN) 1 pada peta raster, dengan kode pada database SWAT Ge25-1a-612, yang bermakna jenis tanah tersebut adalah Gleisol Eutrik.

Simulasi Model SWAT+

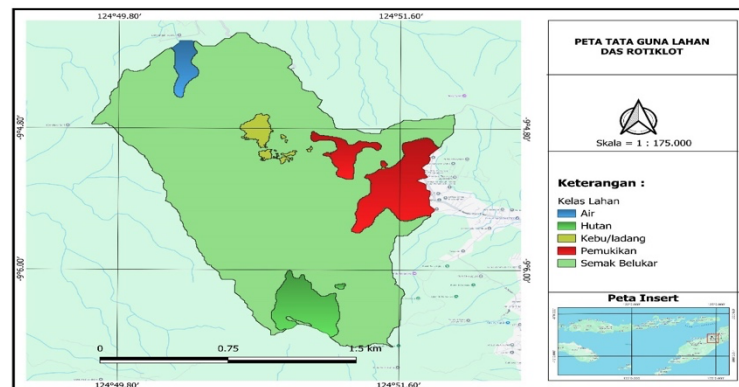
Simulai SWAT+ terdiri dari 3 (tiga) tahap, yaitu delinasi DAS (*Watershed Delineation*), pembuatan HRU (*Creat HRUs*), dan *Edit Input and Run* SWAT+. Delineasi batas Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan Langkah untuk menentukan suatu area yang berperan mengalirkan curah hujan (*input*) menjadi aliran permukaan pada satu titik luaran (*outlet*). Tujuan delinasi DAS yaitu untuk menghasilkan data model DAS, Sub

DAS, dan jaringan sungai. Pada pemodelan SWAT, proses deliniasi Sub DAS menggunakan input data berupa *Digital Elevation Model* dari DEMNAS (DEM Nasional). Hasil deliniasi DAS

dengan ambang batas (*threshold*) sungai dan anak sungai *default* adalah DAS yang terdiri dari 31 sub DAS.



Gambar 3. Persentase Luas Kelas Lahan DAS Rotiklot

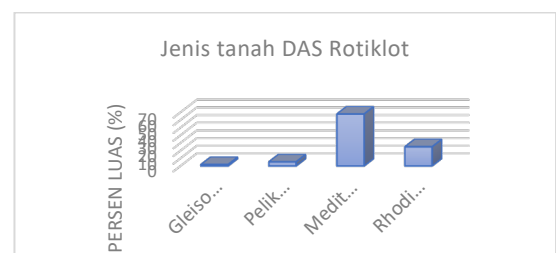


Gambar 4. Peta Tata Guna Lahan DAS Rotiklot

HRU (*Hydrology Response Unit*) merupakan satuan lahan terkecil yang digunakan dalam perhitungan model SWAT. HRU terbentuk dari *overlay* antara peta tata guna lahan, peta jenis tanah, dan peta kemiringan lahan. Hasil pembuatan HRU DAS Rotiklot, menunjukkan penggunaan lahan di DAS terdiri dari 5 (lima) kelas penggunaan lahan DAS Rotiklot. Pertama, kebun/ladang mencakup 1,44% dari total luas daerah aliran sungai. Kedua, hutan memiliki luas 4,50%. Ketiga, semak belukar merupakan jenis yang paling dominan di DAS Rotiklot dengan luas 84,30%. Keempat, pemukiman mencakup 8,44%, dan kelima, air memiliki luas 1,32%. Total luas daerah tangkapan adalah 1132,95 Ha. Persentase luas tiap kelas lahan di DAS Rotiklot setelah pembuatan HRU dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 4 menunjukkan penyebatan kelas penggunaan lahan pada DAS Rotiklot.

Jenis tanah DAS Rotiklot setelah pembentukan HRU yaitu Gleisol Eutrik, Pelik

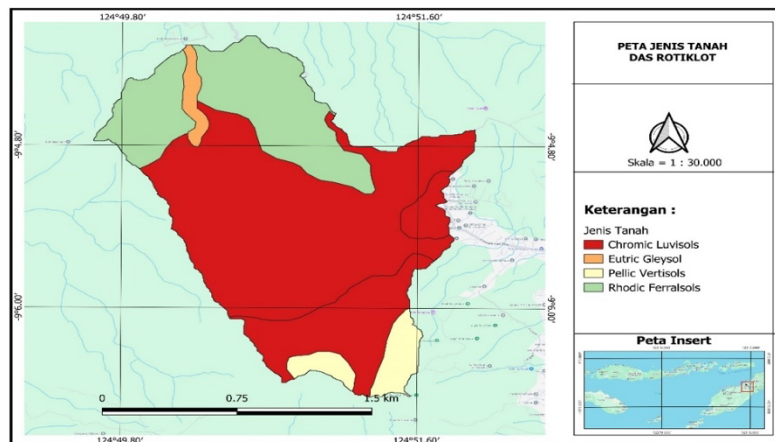
Grumusol, Mediteran Ustik, dan Rhodic Ferralsol. Jenis tanah paling dominan di DAS Rotiklot adalah Mediteran Ustik, dengan luas 767,83 Ha, atau secara persentase sebesar 67,77% dari luas DAS keseluruhan yaitu sekitar 1.132,95 Ha. Sedangkan luas jenis tanah lainnya adalah, *Rhodic Ferralsol*, 283,51 (25%); Pelik Grumusol, dengan total luas 61,07 Ha (5,39 %), dan Gleisol Eutrik dengan luas sebesar 20,54 Ha (1,81%).



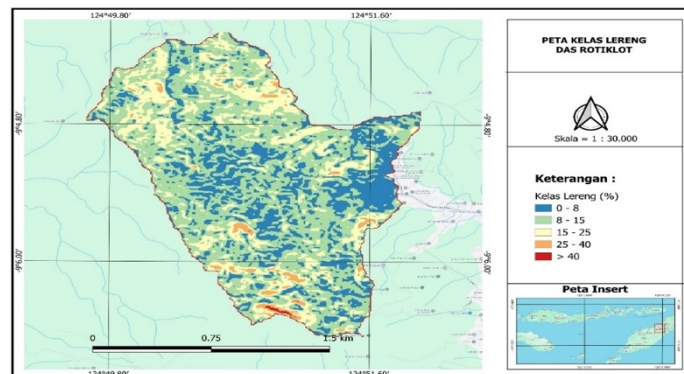
Gambar 5. Persentase Luas Jenis Tanah DAS Rotiklot

Gambar 5 menunjukkan persentase luasan tiap kelas jenis tanah, sedangkan Gambar 6 adalah peta

Sebaran jenis tanah DAS Rotiklot.

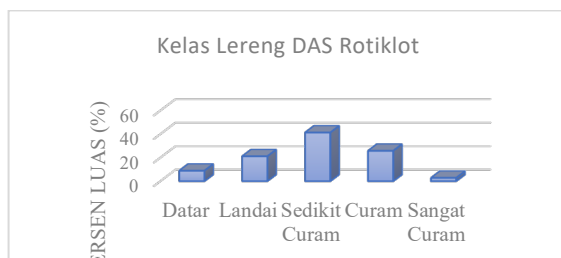


Gambar 6. Peta jenis tanah DAS Rotiklot



Gambar 7. Sebaran Kelas Lereng DAS Rotiklot

Saat pembentukan HRU, kemiringan lereng ditentukan menurut klasifikasi kemiringan lereng dari Kementerian Kehutanan (Kementerian Kehutanan, 2009). Kementerian Kehutanan mengklasifikasikan kemiringan lereng menjadi lima kelas, yaitu datar (<8%), landai (8-15%), agak curam (16-25%), curam (26-40%), dan sangat curam (>40%).



Gambar 8. Persentase tiap kelas lereng DAS Rotiklot

Kelas lereng paling dominan setelah pembentukan HRU adalah kelas lereng “agak

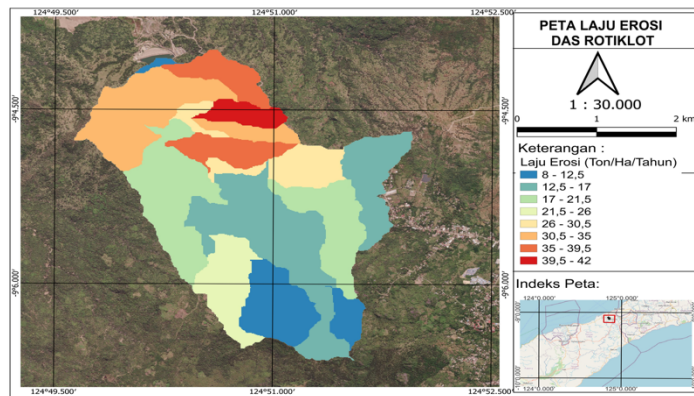
curam”, dengan total luas 468,3 Ha (41,33%). Selanjutnya diikuti oleh kelas lereng curam dan landai dengan masing-masing luas 292,42 (25,81%) dan 239,79 (21,16%). Kelas lereng dengan persentase luas kurang dari 10% adalah kelas lereng datar dengan luas 100,59 Ha (8,88%), dan kelas lereng sangat curam dengan luas 31,85 Ha (2,81%). Peta sebaran kelas lereng DAS Rotiklot ditunjukkan pada Gambar 7, sedangkan Gambar 8 merupakan persentase tiap kelas lereng DAS Rotiklot.

Hasil Simulasi SWAT+

Interpretasi data hasil simulasi model menunjukkan bahwa Sepanjang 28 tahun periode simulasi, laju erosi tahunan tertinggi adalah sebesar 134,5 ton/ha/thn, pada tahun 2002, di sub DAS 30. Sedangkan laju erosi terendah terjadi pada tahun 2020, di sub DAS 4 dan 19. Laju erosi tahunan rata-rata tertinggi untuk

masing-masing sub DAS adalah sebesar 41,6 ton/ha/thn yaitu pada Sub DAS 30, dan laju erosi rata-rata tahunan terendah sebesar 8,1 ton/ha/thn pada Sub DAS 19. Rata-rata laju erosi DAS Rotiklot Secara keseluruhan adalah 18.5

ton/ha/thn. Sebaran laju erosi rata-rata tahunan untuk masing-masing sub DAS ditampilkan pada Gambar 9, sedangkan Tabel 6 dan Tabel 7 menunjukkan laju erosi setiap sub DAS per tahun.



Gambar 9. Sebaran Laju Erosi Per Sub DAS Rotiklot

Tabel 6. Laju Erosi Tahunan Sub DAS 1 - 16

Tahun	Sub DAS															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1996	27.8	92.0	35.7	32.8	58.6	39.6	31.9	40.1	31.3	30.4	30.7	26.6	43.3	35.9	62.9	32.3
1997	17.8	55.4	27.5	23.4	27.4	19.4	18.7	24.3	18.3	18.2	19.0	19.8	29.3	21.9	38.2	19.2
1998	0.5	1.7	0.3	0.2	8.7	3.5	0.6	0.2	0.8	0.1	0.1	0.6	0.2	0.2	1.6	0.2
1999	16.7	55.1	23.2	16.4	28.8	16.5	11.5	14.2	12.8	10.2	11.4	9.9	19.6	12.4	34.4	11.8
2000	11.4	37.2	15.5	12.4	26.8	16.0	10.8	13.0	11.3	9.8	10.2	9.0	15.0	11.7	24.8	11.5
2001	6.6	21.2	6.9	5.6	11.7	7.1	5.2	6.4	5.6	4.8	5.0	4.5	7.3	5.7	13.7	5.2
2002	28.7	99.8	50.4	47.5	95.7	61.9	42.6	51.4	39.5	38.1	40.5	60.4	62.9	47.6	71.6	39.9
2003	15.2	51.2	31.1	33.3	77.0	47.9	32.6	38.8	28.6	29.2	30.5	46.6	46.1	36.2	42.8	29.6
2004	8.8	27.8	12.2	9.6	20.3	12.9	8.2	9.6	8.6	7.2	7.6	11.2	11.8	8.9	18.8	7.4
2005	8.8	29.5	12.1	11.7	29.0	18.8	11.6	13.6	11.1	10.1	10.6	13.1	16.3	12.4	20.9	10.7
2006	10.2	32.3	12.4	9.0	27.7	13.7	7.5	8.6	8.5	6.3	6.8	10.8	10.6	8.0	21.4	6.8
2007	4.7	15.7	6.0	5.6	20.5	12.2	6.4	7.1	6.3	5.4	5.4	6.0	7.6	6.5	11.5	5.8
2008	2.8	9.6	2.7	2.2	21.8	11.4	3.2	2.6	3.6	1.9	2.0	9.5	3.0	2.8	7.2	2.1
2009	8.3	27.6	16.9	18.5	34.9	22.9	17.8	21.8	15.4	16.4	17.2	27.8	25.8	20.6	23.1	16.8
2010	2.3	7.9	4.4	5.1	21.0	11.2	5.5	6.0	4.9	4.4	4.6	6.4	6.7	5.5	7.3	4.4
2011	10.1	33.1	19.4	18.4	40.2	21.0	15.6	19.0	14.0	14.0	15.3	12.7	23.5	16.8	25.6	13.8
2012	7.7	25.5	11.7	11.1	28.8	16.9	10.6	12.5	10.1	9.3	9.9	10.6	15.8	11.3	18.8	10.7
2013	10.9	33.4	17.5	15.3	37.8	21.5	13.2	14.9	12.9	11.8	12.7	11.2	18.4	13.5	25.3	12.1
2014	6.9	21.5	10.6	9.2	22.3	13.2	8.1	9.4	8.0	7.0	7.5	8.5	11.3	8.6	15.7	7.3

Tahun	Sub DAS															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2015	6.1	20.1	10.3	9.1	34.1	19.1	8.8	9.4	8.6	6.9	7.4	14.4	11.7	8.9	15.6	7.3
2016	4.3	14.9	5.6	5.5	25.4	13.1	6.2	6.8	6.2	5.1	5.2	6.3	7.5	6.2	11.3	5.4
2017	11.2	37.3	22.2	20.9	51.9	29.7	19.0	22.3	17.4	16.8	17.6	21.6	27.4	20.4	29.3	16.9
2018	5.5	17.8	8.1	7.7	21.6	11.5	7.2	8.6	6.9	6.4	6.7	6.5	10.2	7.7	13.3	6.6
2019	9.3	30.7	18.3	17.2	45.3	28.0	16.0	18.1	14.8	13.6	14.4	19.8	22.5	16.7	24.2	13.7
2020	0.6	1.9	0.3	0.1	9.3	3.7	0.6	0.1	0.8	0.1	0.1	1.4	0.1	0.2	1.8	0.1
2021	12.6	44.0	27.6	23.8	55.6	32.0	19.3	22.5	17.9	16.4	18.1	17.0	32.6	19.9	32.4	16.8
2022	4.5	15.2	9.7	10.3	28.6	17.6	10.0	11.3	8.9	8.4	8.9	9.8	14.1	10.2	13.1	8.2
2023	5.9	19.2	14.7	13.8	35.4	20.2	12.2	14.0	10.8	10.4	11.2	10.8	17.3	12.6	16.5	9.9
Rerata	9.5	31.4	15.5	14.1	33.8	20.1	12.9	15.2	12.3	11.4	12.0	14.7	18.5	13.9	23.0	11.9

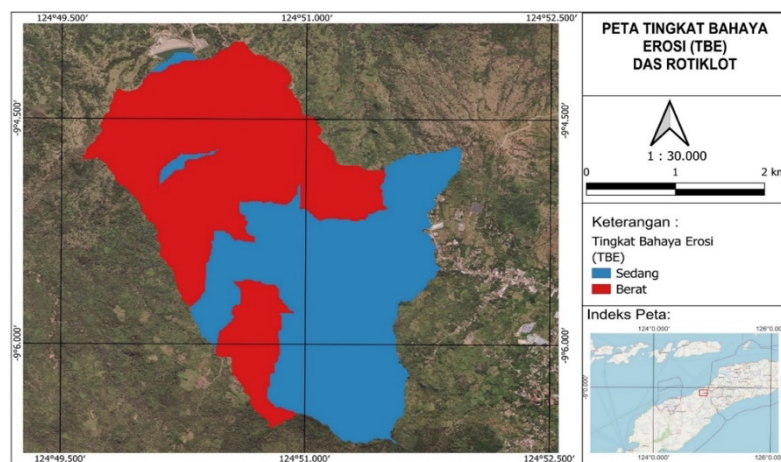
Tabel 7. Laju Erosi Tahunan Sub DAS 17 - 31

Tahun	Sub DAS															
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1996	31.3	24.2	16.2	42.3	30.5	37.1	36.1	34.3	44.3	21.3	74.0	87.8	79.0	121.5	96.6	
1997	17.2	15.1	11.4	27.2	21.4	23.3	21.7	20.6	29.1	16.3	40.9	53.2	46.3	71.3	58.4	
1998	0.2	0.1	0.1	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	1.3	0.6	5.2	1.5	3.6	2.2	1.8	
1999	11.3	9.2	7.9	17.4	12.3	14.2	12.3	11.6	21.2	7.3	41.6	50.7	45.5	72.3	57.1	
2000	12.0	8.6	7.1	14.3	10.6	12.4	11.6	11.0	17.1	7.1	31.8	34.7	32.7	49.2	38.7	
2001	4.9	4.1	3.1	7.1	5.2	6.1	5.7	5.4	9.0	3.6	16.6	19.9	18.0	27.5	22.5	
2002	34.3	33.0	25.7	58.6	56.0	49.8	45.6	43.2	83.3	53.6	97.7	95.9	92.2	134.5	102.2	
2003	24.9	25.4	20.2	43.3	42.6	37.1	34.8	33.0	63.2	42.2	64.6	51.9	55.4	68.4	52.9	
2004	6.3	6.4	5.3	11.0	10.5	9.3	8.6	8.2	18.0	10.0	25.0	26.3	24.8	35.9	29.3	
2005	9.6	9.1	7.4	15.3	13.1	13.0	12.0	11.4	20.2	11.3	29.7	28.4	27.8	39.5	30.7	
2006	6.0	5.8	5.0	9.9	9.8	8.4	7.6	7.2	22.8	9.6	31.0	29.9	30.2	42.3	34.0	
2007	5.6	4.7	3.7	7.6	6.1	6.5	6.4	6.1	9.8	5.1	18.4	15.0	16.2	20.9	16.4	
2008	2.0	1.8	1.5	2.9	6.5	2.4	2.3	2.2	16.7	9.5	17.5	8.9	12.4	12.9	10.1	
2009	14.2	14.1	10.9	24.4	25.1	20.9	19.6	18.6	33.6	25.8	31.3	28.4	28.5	37.3	28.7	
2010	3.4	3.9	2.8	6.7	6.1	5.8	5.3	5.0	8.0	5.7	14.4	8.1	11.2	10.8	8.2	
2011	10.9	12.2	9.6	21.8	15.1	18.5	16.6	15.8	17.4	9.6	35.2	32.6	34.0	43.5	34.3	
2012	10.3	8.7	7.8	14.5	11.6	12.1	11.1	10.5	14.9	8.7	27.0	24.7	25.3	34.1	26.6	
2013	10.8	10.9	9.8	17.1	12.6	14.6	13.2	12.9	17.9	8.7	36.0	32.4	33.8	43.5	35.3	
2014	5.9	7.1	6.8	10.9	8.8	9.2	8.3	7.9	12.5	7.1	22.3	20.8	21.1	28.1	22.7	

Tahun	Sub DAS														
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2015	6.1	6.7	6.0	10.9	12.3	9.1	8.3	7.9	22.4	13.5	28.9	19.4	23.2	26.5	20.9
2016	4.8	4.8	4.0	7.5	6.3	6.4	6.1	5.7	10.5	5.4	20.1	14.2	17.1	20.5	15.4
2017	14.1	14.7	12.0	25.3	21.5	21.5	20.0	18.9	30.0	18.4	44.2	36.6	39.4	49.7	38.4
2018	5.6	5.7	4.5	9.6	7.2	8.2	7.6	7.2	10.1	5.2	19.3	17.2	18.3	23.3	18.8
2019	11.1	12.2	10.1	20.8	18.9	17.6	16.2	15.4	28.1	17.3	39.1	30.2	32.9	40.8	31.7
2020	0.1	0.1	0.1	0.1	0.8	0.1	0.1	0.1	2.9	1.5	5.8	1.7	4.1	2.4	2.1
2021	13.2	15.2	14.1	27.5	19.9	22.4	19.7	18.6	24.1	13.0	49.0	41.9	43.8	60.1	44.1
2022	6.3	7.5	6.2	13.0	10.3	11.0	10.1	9.5	11.6	8.2	21.9	15.5	18.0	20.7	15.7
2023	7.2	9.2	7.3	15.9	11.8	13.6	12.4	11.8	13.6	8.7	27.0	19.3	22.7	24.8	19.7
Rerata	10.3	10.0	8.1	17.2	14.8	14.7	13.6	12.9	21.9	12.7	32.7	30.3	30.6	41.6	32.6

Tingkat Bahaya Erosi (TBE) diperoleh melalui perbandingan andata laju erosi di suatu satuan lahan (*land unit*) dan kedalaman tanah solum tanah pada satuan lahan tersebut. Menurut Raharjo, dkk (2022), ciri khas pulau Timor adalah

lahannya yang kering serta memiliki solum dangkal dan berbatu. Solum tanah dangkal memiliki kedalam antara 30 sampai dengan 60 cm. Perhitungan TBE dilakukan dengan overlay solum tanah dengan peta laju erosi.



Gambar 10. Peta Sebaran Tingkat Bahaya Erosi DAS Rotiklot

Tabel 8. Tingkat Bahaya Erosi (TBE) Sub DAS Rotiklot

Sub DAS	Luas (Ha)	Erosi (Ton/Ha/Tahun)	TBE	Sub DAS	Luas (Ha)	Erosi (Ton/Ha/Tahun)	TBE
1	4.79	9.513	Sedang	17	26.96	10.341	Sedang
2	103.55	31.388	Berat	18	36.18	10.013	Sedang
3	9.72	15.47	Berat	19	53.94	8.09	Sedang
4	6.33	14.131	Sedang	20	65.98	17.242	Berat
5	25.11	33.783	Berat	21	51.26	14.763	Sedang
6	12.1	20.089	Berat	22	25.75	14.672	Sedang
7	9.65	12.887	Sedang	23	40.7	13.556	Sedang

Sub DAS	Luas (Ha)	Erosi (Ton/Ha/Tahun)	TBE	Sub DAS	Luas (Ha)	Erosi (Ton/Ha/Tahun)	TBE
8	105.79	15.229	Berat	24	29.49	12.867	Sedang
9	4.63	12.281	Sedang	25	52.9	21.92	Berat
10	14.62	11.38	Sedang	26	83.94	12.654	Sedang
11	6.13	12.023	Sedang	27	26.92	32.696	Berat
12	44.47	14.747	Sedang	28	44.46	30.251	Berat
13	16.36	18.503	Berat	29	27.16	30.615	Berat
14	74.53	13.903	Sedang	30	32.41	41.582	Berat
15	15.02	22.964	Berat	31	50.2	32.617	Berat
16	36.31	11.874	Sedang				

menunjukkan bahwa lahan di DAS Rotiklot hanya terdiri dari 2 (dua) kelas Tingkat bahaya erosi yaitu TBE sedang dan TBE Berat. Hasil analisis spasial, diperoleh luas lahan dengan TBE sedang adalah sebesar 549,55 ha, dan luas lahan dengan dengan TBE berat adalah sebesar 587,55 ha. Persentase luas lahan dengan TBE sedang sebesar 48,33% dan TBE Berat dengan persentase sebesar 51,67%. Sebaran TBE di DAS Rotiklot dapat dilihat pada Gambar 10, dimana TBE sedang Sebagian besar berada di bagian hulu DAS, sedangkan TBE berat Sebagian besar berada di bagian hilir DAS. TBE untuk setiap sub DAS dapat dilihat pada Tabel 8.

Sedimentasi hasil SWAT+ *sepanjang* 28

tahun periode simulasi (dari tahun 1996-2023) adalah sedimentasi disetiap anak sungai dalam sub-sub DAS dan sungai utama. Debit sedimen disetiap anak sungai tidak semuanya mengalir ke *outlet*, hanya sebagian kecil saja yang mencapai *outlet*. Dengan demikian, debit sedimen yang masuk ke bendungan adalah debit sedimen di sungai utama. Pada model SWAT+, nama Sungai utama di outle adalah cha001. Debit sedimen tahunan tersimpan di dalam file channel_sd_yr. Gambar 11 dan Tabel 9 adalah debit sedimen tahunan Sungai Rotiklot. Sepanjang 28 tahun



Gambar 11. Debit Sedimen Tahunan

periode simulasi, laju sedimen rata-rata tahunan adalah sebesar 3.797,04 ton/tahun. Sedangkan total sedimen yang masuk waduk Rotiklot selama 28 tahun adalah sebesar 106.317.1 ton.

Tabel 9. Debit Sedimen Sungai Rotiklot

No	Tahun	Sedimen (Ton/Thn)	No	Tahun	Sedimen (Ton/Thn)
1	1996	10360	16	2011	3777
2	1997	6240	17	2012	3502
3	1998	304.4	18	2013	4611

No	Tahun	Sedimen (Ton/ Thn)	No	Tahun	Sedimen (Ton/ Thn)
4	1999	6226	19	2014	2795
5	2000	4517	20	2015	2637
6	2001	2336	21	2016	1851
7	2002	11260	22	2017	4492
8	2003	6145	23	2018	2069
9	2004	3357	24	2019	4113
10	2005	3448	25	2020	293.7
11	2006	3933	26	2021	5991
12	2007	2017	27	2022	2028
13	2008	1215	28	2023	2523
14	2009	3259	Total		106,317.10
15	2010	1017	Rata-rata		3,797.04

KESIMPULAN

Rata-rata laju erosi tahunan hasil interpretasi luaran SWAT+ DAS Rotiklot Secara keseluruhan adalah 18.5 ton/ha/thn. DAS Rotiklot terbagi kedalam 2 (dua) TBE, yaitu TBE sedang dan TBE

berat. Luas lahan dengan TBE sedang adalah sebesar 549,55 ha, sedangkan luas lahan dengan dengan TBE berat adalah sebesar 587,55 ha. Hasil model SWAT+ untuk sedimentasi, dengan panjang simulasi 28 tahun (1996-2023) diperoleh rata-rata sedimentasi tahunan sebesar 3.797,039 Ton/Tahun, dengan total sedimen sepanjang 28 tahun simulasi adalah sebesar 106.317.1 ton.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Politeknik Negeri Kupang dan Kepala Pusat Penelitian & Pengabdian pada Masyarakat Politeknik Negeri Kupang, yang telah memberikan kepercayaan dalam membiayai penelitian dengan dana DIPA tahun 2024. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang sudah membantu kelancaran proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Anasiru, R. H., 2015, *Perhitungan Laju Erosi Metode USLE untuk Pengukuran Nilai Ekonomi Ekologi di Sub DAS Langge,*

Gorontalo, Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian Vol. 18, No.3, November 2015: 273-289

Abebe. T., Gebremariam. B., 2019, *Modeling runoff and sediment yield of Kesem Dam Watershed, Awash Basin, Ethiopia*. SN Applied Sciences, 2019:1(5):1–13. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0347-1>

Biro Komunikasi Publik PUPR, 2019, *Di NTT, Presiden Joko Widodo Resmikan Bendungan Rotiklot*, Diakses pada 15 Mei 2024, dari <https://simantu.pu.go.id/content/?id=602>.

Central Water Commission, 2020, *Compendium on sedimentation of reservoirs in India* (Internet). Diakses pada 4 Maret 2024, dari <http://www.cwc.gov.in/sites/default/files/compendium1122020.pdf>

Djebou D. C. S, 2018, *Assessment of sediment inflow to a reservoir using the SWAT model under undammed conditions: A case study for the Somerville reservoir, Texas, USA*, International Soil and Water Conservation Research, 2018: (6): 222–229

Kateb. Z., Bouchelkia H, Benmansour A, Belarbi, 2020, *Sediment transport modeling by the SWAT model using two scenarios in the watershed of Beni Haroun dam in Algeria*, Arabian Journal of Geosciences, 2020: Volume 13: Article Number 653.

Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Srinivasan, R., Williams, J. R., 2011, *Soil and Water Assessment Tool, Theoretical Documentation Version 2009* (Internet). Temple, Texas Water Resources Institute Technical Report No. 406, Texas A&M University System College Station, Texas. Dari swat.tamu.edu/media/99192/swat2009-theory.pdf

Kementerian Kehutanan, 2009, *Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor : P. 32/Menhut-II/2009 Tahun 2009, Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RTkRHL-DAS)*, 11 Mei 2009, Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 109, Jakarta

Sabale. R. S., Londhe. S., Jose. M. K, 2021, *Reservoir Sedimentation Analysis Using SWAT Model*, International Conference on Hydraulics, Water Resources and Coastal Engineering, HYDRO 2021: Hydrology and Hydrologic Modelling pp 167–180

Prediksi Erosi Dan Sedimentasi Pada..., Arnoldus Nama⁽¹⁾, Onisius Loden⁽²⁾, Dedy Ardianto Fallo⁽³⁾, Wellem MWL Daga⁽⁴⁾

Sari, L., Nasjono, J, K., Rizal, A, H., 2020, *Perkiraan Sedimentasi Menggunakan Metode USLE di Bendungan Rotiklot*, Jurnal Teknik Sipil, Vol. IX, No. 1, April 2020.

swat.tamu.edu. 2024. *SWAT+ Input/Output and Theoretical Documentation*. Diakses pada 4 November 2024, dari <https://swatplus.gitbook.io/io-docs>