

**ANALISIS KARAKTERISTIK HIDROLOGI DAS BULOK
DENGAN MENGGUNAKAN PEMODELAN SWAT
(*Soil and Water Assessment tools*)**

(Skripsi)

Oleh :

**LUHUR NANDA GANDHI
2014181005**



**JURUSAN ILMU TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

**ANALISIS KARAKTERISTIK HIDROLOGI DAS BULOK
DENGAN MENGGUNAKAN PEMODELAN SWAT
(*Soil and Water Assessment tools*)**

Oleh :

LUHUR NANDA GANDHI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA PERTANIAN**

Pada

**Jurusan Ilmu Tanah
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**JURUSAN ILMU TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

ANALISIS KARAKTERISTIK HIDROLOGI DAS BULOK DENGAN MENGGUNAKAN PEMODELAN SWAT (*Soil and Water Assessment tools*)

Oleh

Luhur Nanda Gandhi

Daerah Aliran Sungai (DAS) memiliki peran penting dalam kehidupan manusia dalam membangun pemukiman dan sumber ketersediaan air untuk kelangsungan hidup, khususnya di sektor pertanian. Namun, interaksi manusia dengan DAS dapat menyebabkan masalah serius, seperti yang terjadi di DAS Bulok, bagian dari DAS Sekampung di Provinsi Lampung. Perubahan tutupan hutan memperburuk kondisi hidrologi DAS Bulok yang mengakibatkan banjir ketika musim hujan dan kekeringan ketika musim kemarau. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik hidrologi DAS Bulok dengan menggunakan model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) untuk memahami aliran permukaan, aliran bawah permukaan, dan aliran dasar sebelum dan sesudah skenario perubahan tutupan hutan pada DAS Bulok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada DAS Bulok aliran permukaan yang dihasilkan 368,44 mm, aliran bawah permukaan 339,58 mm, dan aliran dasar 306,24 mm. Koefisien Regim Aliran (KRA) mencapai 598,58, dengan kategori sangat tinggi, sementara Koefisien Aliran Tahunan (KAT) bernilai 0,364, dengan kategori sedang. Skenario perubahan tutupan lahan dengan merubah tutupan hutan menjadi 31,37% menunjukkan pengaruh terhadap karakteristik hidrologi DAS Bulok. Aliran permukaan menurun 7,97% menjadi 341,24 mm, aliran bawah permukaan meningkat 1,15% menjadi 343,53 mm, dan aliran dasar meningkat 10,55% menjadi 342,35 mm. Selain itu, KRA membaik menjadi 84,24 dan KAT menurun menjadi 0,35. Penelitian ini menegaskan pentingnya pengelolaan tutupan lahan dalam memperbaiki karakteristik hidrologi DAS. Dengan demikian, penerapan model SWAT memberikan wawasan mendalam tentang dampak perubahan penggunaan lahan dan mengarahkan kebijakan pengelolaan DAS yang lebih berkelanjutan.

Kata kunci : DAS Bulok, Karakteristik Hidrologi Sungai, Aliran Permukaan, Aliran Bawah Permukaan, Aliran Dasar, dan SWAT (*Soil and Water Assessment Tools*).

ABSTRACT

ANALYSIS OF HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF BULOK WATERSHED USING SWAT MODELING (Soil and Water Assessment Tools)

By

Luhur Nanda Gandhi

The Watershed (DAS) plays a crucial role in human life by providing water resources for settlements and ensuring the continuity of life, particularly in the agricultural sector. However, human interaction with watersheds can lead to serious issues, as seen in the Bulok Watershed, part of the Sekampung Watershed in Lampung Province. Changes in forest cover have worsened the hydrological conditions of the Bulok Watershed, causing floods during the rainy season and droughts during the dry season. This study aims to analyze the hydrological characteristics of the Bulok Watershed using the SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model to understand surface flow, subsurface flow, and base flow before and after scenarios of forest cover changes in the Bulok Watershed. The study results show that in the Bulok Watershed, the generated surface flow is 368.44 mm, subsurface flow is 339.58 mm, and base flow is 306.24 mm. The Flow Regime Coefficient (KRA) reaches 598.58, categorized as very high, while the Annual Flow Coefficient (KAT) is 0.364, categorized as moderate. The land cover change scenario by altering forest cover to 31.37% shows an impact on the hydrological characteristics of the Bulok Watershed. Surface flow decreases by 7.97% to 341.24 mm, subsurface flow increases by 1.15% to 343.53 mm, and base flow increases by 10.55% to 342.35 mm. Additionally, the KRA improves to 84.24 and the KAT decreases to 0.35. This study emphasizes the importance of land cover management in improving the hydrological characteristics of watersheds. Therefore, applying the SWAT model provides deep insights into the impact of land use changes and guides more sustainable watershed management policies.

Keywords : Bulok Watershed, Watershed Hydrological Characteristics, Surface Runoff, Subsurface Flow, Base Flow, SWAT (Soil and Water Assessment Tools).

Judul Skripsi

: **ANALISIS KARAKTERISTIK HIDROLOGI DAS
BULOK DENGAN MENGGUNAKAN PEMODELAN
SWAT (*Soil and Water Assessment tools*)**

Nama Mahasiswa

: **Luhur Nanda Gandhi**

NPM

: **2014181005**

Jurusan

: **Ilmu Tanah**

Fakultas

: **Pertanian**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing pertama

Pembimbing kedua

Dr. Ir. Afandi, M.P.
NIP 196404021988031019

Prof. Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S.
NIP 196412231994031003

2. Ketua Jurusan Ilmu Tanah

Ir. Hery Novpriansyah, M.Si.
NIP 196611151990101001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

:Dr. Ir. Afandi, M.P.

Sekretaris

:Prof. Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S.

Penguji

:Ir. Hery Novpriansyah, M.Si.

2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 25 Juli 2024

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **Analisis Karakteristik Hidrologi DAS Bulok Dengan Menggunakan Pemodelan SWAT (*Soil and Water Assessment Tools*)** merupakan hasil karya saya sendiri bukan hasil karya orang lain.

Penelitian ini merupakan penelitian dosen dan mahasiswa Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dengan menggunakan dana pribadi. Dosen yang terlibat adalah Dr. Ir. Afandi, M.P. dan Prof. Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S.

Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini saya kutip dari hasil karya orang lain dan telah saya tuliskan sumbernya secara jelas sesuai kaidah, norma dan etika penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Jika di kemudian hari terbukti skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 01 Agustus 2024
Penulis,



Luhur Nanda Gandhi
NPM 2014181005

RIWAYAT HIDUP



Luhur Nanda Gandhi, anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Agung Tejo Waskito dan Ibu Ety Jumawati (Almh), lahir pada hari Kamis, 27 Desember 2001 di Daya Murni, Kecamatan Tumijajar, Kabupaten Tulang Bawang Barat, Provinsi Lampung. Memulai pendidikan di TK Aisyiyah Bustanul Athfal Desa Daya Asri pada tahun 2006-2008, kemudian melanjutkan di Sekolah Dasar SDN 1 Daya Asri pada tahun 2008-2014. Pendidikan menengah pertama ditempuh di SMPN 1 Tumijajar pada tahun 2015-2017, dilanjutkan dengan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Tumijajar pada tahun 2017-2020.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada tahun 2020 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Pada bulan Januari hingga Februari 2023, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata di Desa Sri Mulyo, Kecamatan Bandar Negeri Suoh, Kabupaten Lampung Barat. Penulis juga melaksanakan Praktik Umum di Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Way Sekampung Way Seputih (BPDAS WSS) pada bulan Juni hingga Agustus tahun 2023.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi internal kampus, yaitu Gabungan Mahasiswa Ilmu Tanah Universitas Lampung (Gamatala) sebagai Anggota Bidang Penelitian dan Pengembangan periode 2021/2022, kemudian lanjut menjadi anggota Bidang Penelitian dan Pengembangan periode tahun 2023. Penulis memiliki pengalaman menjadi asisten praktikum beberapa mata kuliah, yaitu Genesis dan Klasifikasi Tanah serta Dasar-Dasar Ilmu Tanah

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(QS Al-Baqarah: 286)

“Cukuplah Allah menjadi Penolong kami dan Allah adalah sebaik-baik Pelindung”

(QS Ali-Imran : 173)

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri”

(QS Ar-Ra'd : 11)

PERSEMBAHAN

Dengan memohon Rahmat dan Keberkahan dari Allah SWT,

Dengan segala kerendahan hati, saya persembahkan skripsi ini kepada kedua orang tua tercinta, yang dengan sabar dan kasih sayangnya telah membimbing dan mendukung tanpa kenal lelah. Pengorbanan kalian adalah cahaya yang mengarahkan saya dalam menyelesaikan studi ini. Terima kasih atas segala doa dan dukungan yang tak pernah putus. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan kalian.

*Serta kepada almamater yang telah membentuk saya dengan ilmu dan karakter,
“Universitas Lampung”,
tempat di mana mimpi-mimpi mulai bertumbuh dan berkembang.*

Semoga karya ini dapat menjadi sumbangsih yang bermanfaat bagi banyak orang. Aamiin YRA.

SANWACANA

Dengan mengucapkan *Alhamdulillah* rabbil'alam, penulis memanjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT. Berkat rahmat, nikmat, dan hidayah-Nya, penulis berhasil menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Analisis Karakteristik Hidrologi DAS Bulok dengan Menggunakan Pemodelan SWAT (Soil and Water Assessment Tools)*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana. Skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa bimbingan para dosen pembimbing, serta dukungan dari keluarga dan kerabat yang senantiasa memberikan semangat dan bantuan.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih setulus-tulusnya kepada pihak-pihak tersebut sebagai berikut:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Ir. Hery Novpriansyah, M.Si. selaku Ketua Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung, sekaligus selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan, kritik, dan saran selama penyusunan skripsi.
3. Alm Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si. selaku pembimbing yang telah membantu saya untuk melaksanakan penelitian ini, memberikan waktu, bimbingan, dan arahan selama penelitian serta penyusunan skripsi.
4. Bapak Dr. Ir. Afandi, M.P. selaku dosen Pembimbing Pertama yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran dan kemudahan dalam penelitian dan penulisan skripsi.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S. selaku dosen Pembimbing kedua yang memberikan arahan, saran, dan kemudahan dalam penelitian dan penulisan skripsi.
6. Bapak Apriadi, M.Hut. selaku pembimbing lapang yang telah memberikan

banyak bantuan, arahan, dan saran dalam penelitian dan penulisan skripsi.

7. Kedua orang tuaku tercinta, Bapak Agung Tejo Waskito dan Almh Ibu Ety Jumawati yang senantiasa memberikan kasih sayang dan doa yang tak henti serta telah mendukung penuh setiap yang penulis lakukan. Tiada hal yang lebih indah yang diharapkan seorang anak dalam proses berjuang selain dari doa, restu, dukungan serta semangat yang dicurahkan oleh kedua orang tuanya. Sehingga penulis merasa terdukung di segala pilihan dan keputusan yang diambil oleh penulis, serta tanpa lelah mendengarkan keluh kesah hingga di titik ini. Semoga Allah SWT memberikan keberkahan di dunia serta tempat terbaik di akhirat kelak, karna telah menjadi orangtua terbaik bagi penulis.
8. Kedua Kakak kandungku, Dhian Putri Wardani dan Dimas Fajar Erlangga yang selalu mendukung dan memberikan semangat positif dalam menyelesaikan studi.
9. Zahra Anisa Rahman seseorang yang telah memberikan waktunya untuk menemani penulis selama penelitian dan penyelesaian skripsi.
10. Teman-teman yang telah bersama sama selama kurang lebih 4 tahun ini dan bahu-membahu saling membantu dan memberi dukungan yang luar biasa.
11. Semua pihak yang terlibat dalam penulisan dan penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penelitian selanjutnya.

BandarLampung,

Penulis,



Luhur Nanda Gandhi
NPM 2014181005

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Kerangka Pemikiran	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)	7
2.2 Karakteristik Hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS).....	8
2.2.1 Limpasan Permukaan (<i>Surface runoff</i>).....	8
2.2.2 Limpasan Bawah Permukaan (<i>Subsurface runoff</i>)	9
2.2.3 Aliran Dasar (<i>Baseflow</i>)	10
2.2.4 Koefisien Aliaran Tahunan (KAT).....	10
2.2.5 Koefisien Regim Aliran (KRA).....	11
2.3 Sistem Hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS).....	12
2.4 <i>Geographic Information System (GIS)</i>	13
2.5 Model Hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS)	13
2.6 Soil and Water Assesment Tools (SWAT)	14
2.6.1 Karakteristik DAS	15
2.6.2 Iklim.....	16
2.6.3 Karakteristik Tanah	16
2.6.4 Tutupan dan Pengelolaan Lahan.....	17
III. METODELOGI PENELITIAN	18
3.1 Waktu dan Tempat	18
3.2 Alat dan Bahan	19
3.3 Pengumpulan Data	19

3.3.1	Data Primer	19
3.3.2	Data Sekunder	19
3.4	Metode Penelitian	20
3.4.1	Parameter Input Model SWAT	20
3.4.2	Analisis Model SWAT	23
3.4.3	Akurasi Model (Kalibrasi dan Validasi)	24
3.4.3	Skenario Tutupan Lahan	25
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Kondisi Umum DAS Bulok	27
4.2	Parameter Masukan Model SWAT	27
4.2.1	Topografi	27
4.2.2	Karakteristik Tanah DAS Bulok	32
4.2.3	Kondisi Iklim DAS Bulok	37
4.2.4	Tutupan Lahan DAS Bulok	40
4.3	Akurasi Model (Kalibrasi dan Validasi)	42
4.4	Analisis Model SWAT DAS Bulok	45
4.4.1	Deliniasi DAS dan Sub DAS	45
4.4.2	Analisis Eksisting Hidrologi DAS Bulok	46
4.4.3	Analisis Hidrologi dengan Skenario	56
V. SIMPULAN DAN SARAN		64
5.1	Simpulan	64
5.2	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA		66
LAMPIRAN		72

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Klasifikasi Koefisien Aliran Tahunan.....	11
Tabel 2. Klasifikasi koefisien regim aliran	12
Tabel 3. Data iklim yang digunakan pemodelan SWAT	22
Tabel 4. Nilai NSE Kalibrasi	25
Tabel 5. DAS Bulok Berdasarkan Kelas Lereng	28
Tabel 6. Karakteristik Tanah DAS Bulok Lapisan 1.....	33
Tabel 7. Karakteristik Tanah DAS Bulok Lapisan 2.....	34
Tabel 8. Karakteristik Tanah DAS Bulok Lapisan 3.....	35
Tabel 9. Pembangkit Iklim Stasiun BMKG Kecamatan Beranti Periode 2015-2022	39
Tabel 10. Karakteristik tutupan lahan DAS Bulok	40
Tabel 11. Luas DAS dan Sub DAS Bulok berdasarkan Hasil Deliniasi SWAT ..	45
Tabel 12. Karakteristik eksisting hidrologi DAS Bulok tahun 2022.....	48
Tabel 13. Karakteristik Eksisting KRA DAS dan Sub DAS Bulok Tahun 2022 .	49
Tabel 14. Karakteristik Eksisting KAT DAS dan Sub DAS Bulok Tahun 2022..	52
Tabel 15. Aliran dasar (<i>Baseflow</i>) pada DAS Bulok 2022	54
Tabel 16. Perubahan tutupan lahan dengan skenario DAS Bulok	59
Tabel 17. Neraca air dengan skenario pada DAS Bulok.....	61
Tabel 18. Perubahan karakteristik hidrologi DAS Bulok kondisi eksisting dan penerapan skenario	62
Tabel 19. Kandungan Air dalam tanah sebelumnya pada DAS Bulok Tahun 2022	76
Tabel 20. Nilai CN tutupan lahan pada setiap kondisi pada DAS Bulok	76
Tabel 21. Nilai CN tutupan lahan perluasan lahan kondisi 1 pada DAS Bulok ..	77
Tabel 22. Nilai CN tutupan lahan perluasan lahan kondisi 2 pada DAS Bulok ..	79
Tabel 23. Nilai CN tutupan lahan perluasan lahan kondisi 3 pada DAS Bulok ..	83
Tabel 24. Uji akurasi berdasarkan debit aktual harian dan debit simulasi harian menggunakan metode <i>Nash-Sutcliffe Efficiency</i> (NSE) dan koefisien determinasi (R^2)	86

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Alur Kerangka Pemikiran.....	6
Gambar 2. Peta Situasi DAS Bulok	18
Gambar 3. Peta Digital Elevation Model (DEM) DAS Bulok.....	29
Gambar 4. Peta Kontur DAS Bulok 2023.....	30
Gambar 5. Peta Kelas Lereng DAS Bulok 2023.....	31
Gambar 6. Peta satuan pengolahan lahan pada DAS Bulok 2022	36
Gambar 7. Peta Lokasi Stasiun Iklim dan Hujan DAS Bulok	38
Gambar 8. Peta tutupan lahan DAS Bulok.....	41
Gambar 9. (a). Akurasi model antara debit aktual dan debit simulasi nilai NSE	43
Gambar 10. (a). Akurasi model antara debit aktual dan debit simulasi nilai NSE setelah dikalibrasi (b). Hubungan debit aktual dan debit simulasi setelah dikalibrasi.....	44
Gambar 11. Peta DAS dan Sub DAS Bulok	46
Gambar 12. (a) Karakteristik hidrologi eksisting DAS Bulok berdasarkan hasil simulasi SWAT (b) Karakteristik hidrologi eksisting DAS Bulok berdasarkan hasil simulasi SWAT (persen)	47
Gambar 13. Respon debit simulasi terhadap curah hujan di DAS Bulok 2022 ...	51
Gambar 14. Peta Kawasan Hutan DAS Bulok Provinsi Lampung 2022	57
Gambar 15. Peta rekayasa tutupan lahan DAS Bulok Provinsi Lampung 2022...	58
Gambar 16. Debit aliran DAS Bulok Provinsi Lampung 2022	60
Gambar 17. (a) Karakteristik hidrologi DAS Bulok hasil skenario	61
Gambar 18.. Kondisi tutupan hutan di DAS Bulok	73
Gambar 19. Pertanian lahan kering campuran di DAS Bulok	73
Gambar 20. Sawah padi di DAS Bulok	74
Gambar 21. Tanaman kopi monokultur di DAS Bulok	74

Gambar 22. Kondisi Pemukiman di DAS BulokS	75
Gambar 23. Kondisi sungai DAS Bulok	75

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) memiliki ikatan yang erat dengan kehidupan manusia sepanjang peradaban manusia berkembang. Kehidupan manusia bergantung terhadap DAS untuk membangun pemukiman dan sebagai sumber ketersediaan air dan pangan yang melimpah. Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air menyatakan bahwa Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungai yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alamiah. Batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.

Salah satu sektor utama di Indonesia yang bergantung dengan sumber air yang berasal dari DAS adalah sektor pertanian. Selain itu DAS juga berperan dalam fasilitas perdagangan antar wilayah sebagai rute transportasi dan komunikasi. Namun interaksi manusia dengan DAS ini akan membawa masalah serius terhadap karakteristik DAS. Menurut Azizah, dkk (2021) menyatakan bahwa peningkatan populasi manusia dan urbanisasi berdampak buruk bagi DAS. Hal ini karena eksploitasi sumber daya yang ada di DAS seperti perubahan tutupan hutan, polusi dari transportasi, dan perubahan tata guna lahan akan mengganggu karakteristik hidrologi (Yusuf, 2021).

DAS Sekampung merupakan salah satu DAS terbesar yang ada di Provinsi Lampung dengan luas sebesar 484.181,80 ha. Menurut Banuwa (2008) dalam Riswulan (2021) DAS Sekampung merupakan salah satu DAS terbesar di Provinsi Lampung yang sejak 1984 telah ditetapkan sebagai DAS Super prioritas untuk dikelola secara efektif, namun hingga saat ini kondisinya masih sangat memprihatinkan. Salah satu bagian DAS Sekampung adalah DAS Bulok yang secara geografis DAS Bulok terletak pada $5^{\circ}20' - 5^{\circ}35'$ LS dan $104^{\circ}40' - 105^{\circ}10'$ BT dan secara administratif DAS Bulok melintasi Kabupaten Tanggamus, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Pesawaran.

Menurut Pratama dan Yuwono (2016) Kondisi DAS Bulok tergolong buruk karena terjadi peningkatan debit sungai yang berpotensi banjir ketika musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau. Hal ini dikarenakan pada DAS Bulok mengalami perubahan tutupan lahan dari hutan menjadi lahan pemukiman. Menurut Rosalifa (2022) dari 2009-2018 lahan yang berstatus kritis pada DAS Bulok meningkat secara signifikan yang awalnya hanya 1.540 ha menjadi 20.364 Ha. Pada tahun 2022 DAS Bulok hanya memiliki luas tutupan Hutan 1,85% yang seharusnya berdasar Peta Kawasan Hutan DAS Bulok seharusnya memiliki tutupan Hutan sebesar 14874 Ha (18,89 %) Dengan demikian hal ini berpengaruh pada kondisi tata air di DAS Bulok (Suryono, 2018). Hal ini dapat menyebabkan kerugian besar bagi masyarakat, berkurangnya pangan, sarana dan prasarana serta terganggunya tata kehidupan masyarakat sekitar.

Perubahan hidrologi DAS Bulok Perlu di Analisis untuk mengetahui dampaknya terhadap sistem aliran air dan lingkungan sekitarnya. Menurut Junaidi (2015) menyatakan bahwa model SWAT dapat menggambarkan kondisi hidrologi di suatu daerah aliran sungai (DAS) dari data spasial yang diolah dapat menghasilkan data non spasial atau dalam penelitian ini menghasilkan data debit sungai. Model SWAT (*Soil Water Assessment Tools*) mampu mengakomodir parameter iklim, penggunaan lahan, topografi dan karakteristik tanah (Latifah, 2013). SWAT juga dapat mengetahui karakteristik hidrologi DAS secara kontinyu yang dapat memprediksi jangka panjang dari manajemen lahan dan tanah.

Pada penelitian ini yang dianalisa menggunakan model SWAT adalah karakteristik hidrologi eksisting dan skenario kegiatan pengelolaan DAS Bulok. Karakteristik Hidrologi yang dianalisis yaitu limpasan permukaan (*surface runoff*), aliran bawah permukaan (*subsurface runoff*), aliran dasar (*baseflow*), Koefisien Regim Aliran dan Koefisien Aliran Tahunan untuk mengetahui bagaimana hubungan perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik hidrologi di DAS Bulok (Mulyana, 2012). Sehingga dari pemodelan dapat dilakukan skenario perubahan tutupan lahan yang mengacu pada Pasal 18 Undang Undang Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Kehutanan bahwasannya pada pasal ini menetapkan luas kawasan hutan yang harus dipertahankan minimal sebesar 30% dari luas DAS dan perubahan tutupan Hutan disesuaikan dengan Peta Kawasan Hutan DAS Bulok.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana keadaan aliran permukaan (*surface runoff*), aliran bawah permukaan (*subsurface runoff*), dan aliran dasar (*baseflow*)) pada DAS Bulok berdasarkan hasil analisis dengan pemodelan SWAT sebelum dan sesudah di rekayasa tutupan lahan (skenario)?
2. Bagaimana nilai Koefisien Regim Aliran (KRA) dan Koefisien Aliran Tahunan (KAT) pada DAS Bulok berdasarkan hasil analisis dengan pemodelan SWAT sebelum dan sesudah di rekayasa tutupan lahan (skenario)?

1.3 Tujuan

Tujuan dari pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui dan menganalisis aliran permukaan (*surface runoff*), aliran bawah permukaan (*subsurface runoff*), dan aliran dasar (*baseflow*) pada DAS Bulok berdasarkan hasil analisis dengan pemodelan SWAT sebelum dan sesudah di rekayasa tutupan lahan (skenario)?

2. Untuk mengetahui dan menganalisis nilai Koefisien Regim Aliran (KRA) dan Koefisien Aliran Tahunan (KAT) pada DAS Bulok berdasarkan hasil analisis dengan pemodelan SWAT sebelum dan sesudah di rekayasa tutupan lahan (skenario)?

1.4 Kerangka Pemikiran

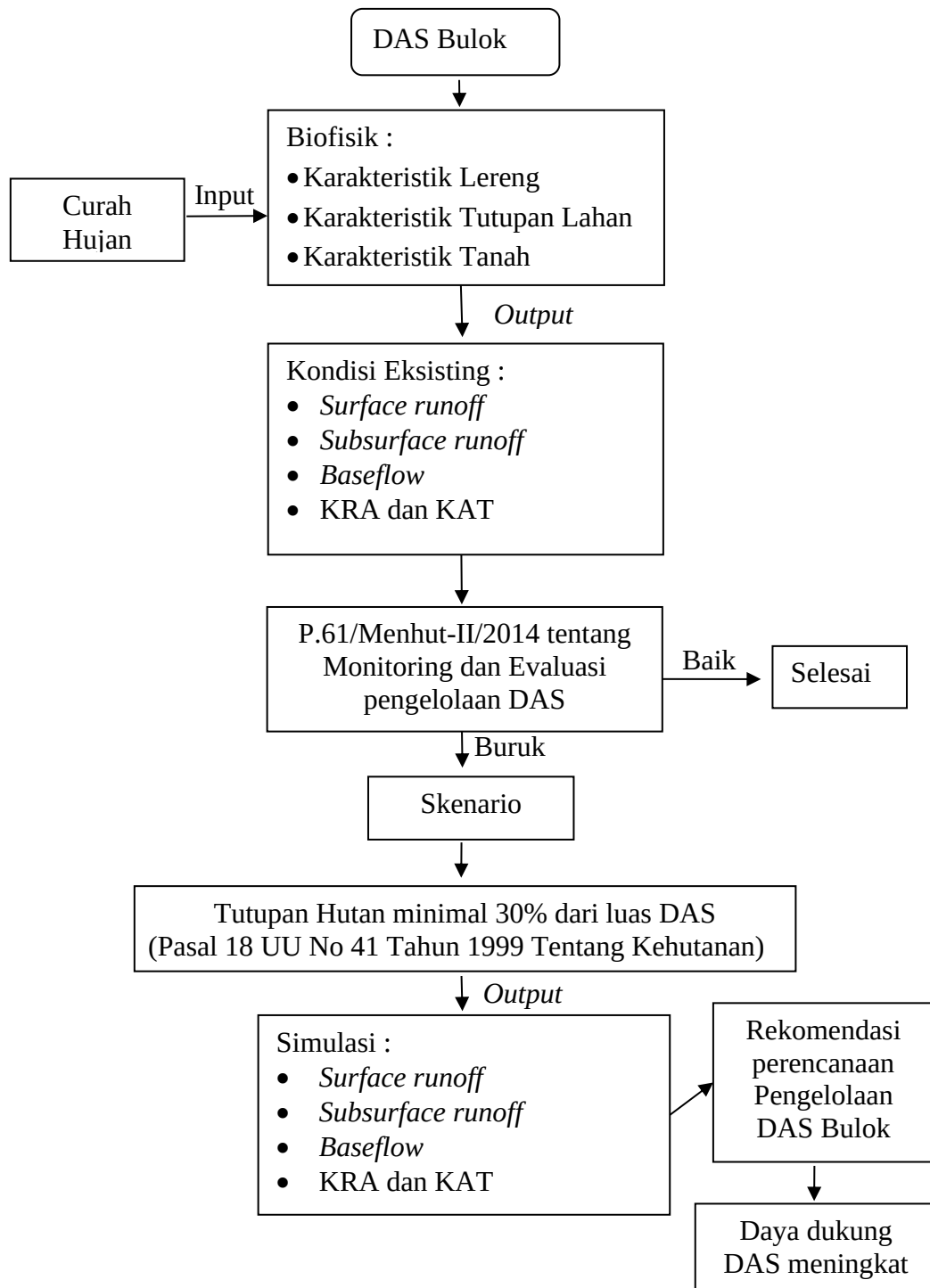
Menurut Tanika (2016) DAS berperan dalam melindungi lingkungan sekitar seperti menjaga kualitas air, mencegah banjir pada musim hujan dan mencegah kekeringan ketika musim kemarau. Namun urbanisasi menyebabkan alih fungsi lahan hutan menjadi lahan pemukiman dan lahan pertanian. Hal ini berdampak negatif pada karakteristik hidrologi DAS Bulok selain itu faktor yang memengaruhi karakteristik hidrologi DAS adalah karakteristik iklim dan biofisik (Arsyad, 2010 dalam Apriadi, 2022). Karakteristik iklim meliputi curah hujan, temperatur udara, radiasi matahari, kelembapan udara dan kecepatan angin. Sedangkan Karakteristik biofisik meliputi tutupan Lahan, karakteristik tanah dan karakteristik lereng.

Faktor biofisik yang memengaruhi aliran permukaan di suatu DAS adalah kecuraman lereng, Kecuraman lereng sangat menentukan karakteristik lereng di suatu DAS yang berhubungan dengan limpasan permukaan (Suriadikusumah, 2014). Selain itu, tutupan lahan juga memengaruhi aliran permukaan. Tutupan lahan merupakan faktor yang sangat dipengaruhi oleh manusia sebab dari alih fungsi lahan hutan menjadi pemukiman. Tutupan lahan dengan vegetasi rapat dengan strata tajuk rapat dapat menahan energi hujan yang turun sehingga kekuatan limpasan air hujan menjadi berkurang yang tidak akan merusak agregat tanah serta air hujan yang jatuh akan jatuh secara perlahan ke dalam pori pori tanah yang hal ini tidak akan merusak karakteristik tanah sehingga kapasitas infiltrasi tetap tinggi (Apriadi, 2022).

Berdasarkan hal ini penelitian tentang karakteristik hidrologi pada DAS Bulok penting untuk dilakukan penelitian untuk mengetahui keadaan karakteristik pada DAS Bulok. Analisis karakteristik hidrologi pada suatu DAS dapat dilakukan

dengan menggunakan metode pemodelan. Salah satunya adalah model SWAT (*Soil and Water Assessment Tools*). Sehingga pada penelitian ini menggunakan pemodelan SWAT yang sesuai dengan Peraturan Direktorat Jenderal Bina Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial Nomor: P.2/V-SET/2015 tentang Petunjuk Teknis Pemanfaatan Model Hidrologi dalam Pengelolaan DAS. Pemanfaatan model hidrologi dalam penelitian ini untuk menganalisis kondisi eksisting hidrologi DAS Bulok. Parameter karakteristik hidrologi yang dianalisis adalah aliran permukaan (*surface runoff*), aliran bawah permukaan (*Subsurface runoff*), aliran dasar (*baseflow*), Koefisien Regim Aliran (KRA), dan Koefisien Aliran Tahunan (KAT). Berdasarkan berbagai penelitian yang telah dilakukan Banuwa (2009); Yuwono (2016); dan Sunandar (2016) menyatakan bahwa tutupan lahan berpengaruh terhadap karakteristik hidrologi. Sehingga pada suatu DAS dapat diperbaiki dengan rekayasa tutupan lahan (skenario).

Skenario perubahan tutupan lahan bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari perubahan tutupan lahan yang tidak produktif menjadi tutupan hutan tersebut terhadap karakteristik hidrologi DAS Bulok. Dengan mempertimbangkan parameter karakteristik hidrologi DAS aliran permukaan (*surface runoff*), aliran bawah permukaan (*subsurface runoff*), aliran dasar (*baseflow*), Koefisien Regim Aliran (KRA) dan Koefisien Aliran Tahunan (KAT) (Apriadi, 2022). Rekayasa tutupan lahan dapat diterapkan pada DAS Bulok mengacu pada Pasal 18 Undang Undang Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Kehutanan bahwasannya pada pasal ini menetapkan luas kawasan hutan yang harus dipertahankan minimal sebesar 30% dari luas DAS dan perubahan tutupan hutan ditentukan berdasar peta Kawasan Hutan DAS Bulok. Dari hasil skenario tutupan lahan yang diketahui dapat memberikan rekomendasi perencanaan pengelolaan yang tepat pada DAS Bulok agar daya dukung DAS Bulok meningkat.



Gambar 1. Alur Kerangka Pemikiran

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air menyatakan bahwa Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungai yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alamiah, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. Perkembangan penduduk yang terus meningkat, lama kelamaan merubah keseimbangan harmonis antar manusia dengan sungai dan hutan yang ada di sekitarnya. Semakin bertambah jumlah penduduk, semakin berat pula tekanan yang dihadapi oleh DAS (Banuwa, 2013).

Menurut Halim (2014) DAS merupakan suatu ekosistem alam yang di batasi oleh punggung bukit. DAS penampung air, mendistribusikan air yang tertampung di sekitar DAS dari hulu ke hilir yang akan berakhir di suatu tubuh air berupa danau ataupun laut. Suatu DAS terdiri atas dua bagian utama area tangkapan air (*catchment area*) yang membentuk daerah hulu dan daerah penyaluran air yang berada di bawah area tangkapan air sehingga DAS menjadi tempat keberlangsungan daur hidrologi. Menurut Suripin (2002) dalam Saifudin (2017) Daerah aliran sungai (DAS) adalah suatu wilayah yang dibatasi oleh batas alam, seperti punggung bukit atau gunung, batas batuan (jalan atau tanggul) yang dimana air hujan turun di wilayah tersebut dan mengalirkannya ke titik kontrol (*outlet*). Dari titik control (*outlet*) dapat diketahui air akan terakumulasi, sehingga aliran air dapat ditelusuri.

Perubahan tutupan lahan karena penggunaan tutupan lahan tanpa memperhatikan kelestariannya mengakibatkan kekritisian lahan yang akan mengakibatkan dampak buruk seperti penurunan kesuburan tanah dan produktivitas tanah di suatu DAS (Auliana, 2017). Penggunaan lahan seharusnya memperhatikan konservasi dan tergantung pada lokasi untuk mengurangi dampak buruk, khususnya untuk daerah-daerah pemukiman, lokasi industri, maupun untuk daerah-daerah rekreasi (Yuwono, 2000).

Menurut Susetyaningsih (2012) dalam Widiyanto (2018) Daerah aliran sungai (DAS) memiliki tiga bagian daerah yaitu hulu, tengah dan hilir. Secara biogeofisik, daerah hulu DAS memiliki ciri-ciri yaitu merupakan daerah konservasi dengan lereng $>15\%$, serta pengelolaan pemakaian air ditentukan dengan pola drainase. Menurut Sinukaban (2007) dalam Yuwono (2011) menyatakan bahwa penebangan hutan secara besar-besaran di bagian hulu DAS dapat mengganggu distribusi aliran sungai di bagian hilir. Pada daerah hilir memiliki ciri-ciri merupakan daerah pemanfaatan dengan kemiringan lereng kurang dari ($<8\%$), di beberapa tempat merupakan daerah banjir (ada genangan), jenis vegetasi yang ada disekitarnya didominasi dengan tanaman pertanian. Sedangkan pada daerah tengah merupakan daerah transisi dari kedua karakteristik biogeofisik DAS pada daerah hulu dan hilir.

2.2 Karakteristik Hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS)

Karakteristik hidrologi daerah aliran sungai yang di analisis dalam penelitian ini adalah aliran permukaan (*Surface runoff*), aliran bawah permukaan (*Subsurface runoff*), aliran dasar (*Baseflow*), Koefisien Regim Aliran (KRA), Koefisien Aliran Tahunan (KAT).

2.2.1 Limpasan Permukaan (*Surface runoff*)

Limpasan permukaan atau aliran permukaan adalah bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah dan mengangkut partikel partikel tanah. Limpasan terjadi karena intensitas hujan yang jatuh disuatu daerah melebihi

kapasitas infiltrasi. Selanjutnya air akan mengalir (melimpas) di atas permukaan tanah (*Surface runoff*). Rendah tingginya Limpasan permukaan (*Surface runoff*) pada suatu DAS dipengaruhi laju infiltrasi, laju infiltrasi yang tinggi menyebabkan Limpasan permukaan (*Surface runoff*) menjadi rendah dan sebaliknya. Laju infiltrasi dipengaruhi oleh struktur tanah bagian atas yang dipengaruhi oleh bahan organik dan aktivitas biota tanah (Masnang, 2014).

Limpasan permukaan inilah yang menjadi tenaga penggerus/pengelupas lapisan tanah atas, mengangkut material tanah permukaan yang lepas atau dikenal dengan proses erosi permukaan (sheet erosion) oleh tenaga limpasan permukaan, yang dikenal kemudian membawanya ke dalam badan-badan air (sungai, rawa, danau, waduk dan laut/lautan) membentuk banjir kiriman (banjir limpasan) menyumbang banjir di sungai serta membawa lumpur yang menyebabkan pendangkalan atau dikenal dengan proses sedimentasi (Muharomah, 2014).

Menurut Yuwono, dkk (2018) Aliran permukaan dapat mengakibatkan terjadinya erosi. Erosi mempengaruhi produktivitas lahan yang mendominasi DAS bagian hulu dan menimbulkan efek buruk bagian hilir dalam wujud sedimen, juga berakibat kekeringan saat kemarau dan banjir pada musim penghujan.

Karakteristik daerah yang berpengaruh terhadap besarnya limpasan air permukaan antara lain adalah topografi, jenis tanah, dan penggunaan lahan atau penutup lahan (Gafuri, 2016).

2.2.2 Limpasan Bawah Permukaan (*Subsurface runoff*)

Aliran bawah permukaan merupakan bagian dari presipitasi yang mengalami infiltrasi dalam tanah yang kemudian mengalir di bawah permukaan tanah dan menuju alur sungai sebagai rembesan maupun mata air (Baddarudin, 2021). Air infiltrasi akan tertahan di dalam tanah (pengaruh gaya kapiler) yang selanjutnya akan membentuk kelembaban tanah. Pada saat tingkat air tanah jenuh maka air hujan yang baru masuk tanah akan bergerak horizontal selanjutnya keluar lagi ke permukaan tanah (*subsurface runoff*) dan akhirnya mengalir ke sungai. Air tanah

ini juga dapat mengalir vertical ke tanah lebih dalam dan menjadi bagian dari air tanah (*groundwater*). Air tanah tersebut akan mengalir perlahan menuju sungai, danau atau penampungan lainnya. Limpasan bawah permukaan (*Subsurface runoff*) merupakan penyumbang debit yang cukup besar di daerah yang berhutan. Aliran bawah permukaan pada profil tanah (0 – 2 m) (Perdirjen BPDASPS, 2015).

2.2.3 Aliran Dasar (*Baseflow*)

Aliran dasar (*baseflow*) merupakan limpasan yang bergerak secara horizontal yang berasal dari air tanah (*groundwater*). *Baseflow* muncul sebagai debit air yang masih ada di sungai pada saat musim kering atau selama periode tidak hujan, Apabila ketika musim kemarau sungai masih ada debit sungai yang mengalir, aliran inilah yang berasal dari *baseflow* (Indarto, 2010). Aliran dasar relatif stabil dan lambat, serta berhubungan erat dengan karakteristik DAS (Broгна, 2017). Meskipun demikian, variabilitas Aliran dasar berhubungan erat dengan perubahan siklus hidrologi di DAS. Hal tersebut dapat disebabkan karena aliran dasar merupakan sumber air yang penting bagi sungai, terutama pada saat tidak terjadi hujan/musim kemarau (Zhang, 2019). Menurut Neitsch, dkk (2011) dalam pemodelan SWAT, air bawah tanah terbagi menjadi 2 sistem akuifer, yaitu akuifer dangkal (akuifer tidak tertekan yang memberikan kontribusi aliran dasar ke sungai di dalam DAS) dan akuifer dalam (akuifer di luar DAS).

2.2.4 Koefisien Aliaran Tahunan (KAT)

Koefisien Aliran Tahunan (KAT) adalah perbandingan antara tebal aliran tahunan (Q, mm) dengan tebal hujan tahunan (P, mm) di DAS atau dapat di katakan berapa persen curah hujan yang menjadi aliran (*runoff*) di DAS tersebut BPDAS (2015) dalam Banuwa (2021), Kondisi DAS dapat ditentukan dengan Koefisien Aliran Tahunan (KAT) sesuai dengan Peraturan Pemerintah nomor 37 tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS). KAT ini biasa dikenal dengan istilah koefisien aliran permukaan (C). Nilai koefisien C ini berkisar antara 0 – 1. Nilai 0 menunjukkan bahwa semua air hujan yang turun

terinfiltrasi sempurna ke dalam tanah, sedangkan nilai $C = 1$ menunjukkan bahwa seluruh air hujan mengalir sebagai aliran permukaan, pada DAS nilai C yang baik yaitu mendekati nol (0) dan semakin rusak suatu DAS maka nilai C semakin mendekati satu (Adhani, 2023). Menurut Permenhut nomor P. 61/Menhut-II/2014, klasifikasi KAT dibagi menjadi lima yaitu sebagai berikut.

Tabel 1. Klasifikasi Koefisien Aliran Tahunan

No	Nilai	Kelas
1	$KAT \leq 0,2$	Sangat rendah
2	$0,2 < KAT \leq 0,3$	Rendah
3	$0,3 < KAT \leq 0,4$	Sedang
4	$0,4 < KAT \leq 0,5$	Tinggi
5	$KAT > 0,5$	Sangat tinggi

Sumber : Permenhut nomor P.61/Menhut-II/2014

$$KAT = \frac{Q \text{ tahunan}}{P \text{ tahunan}}$$

Keterangan :

KAT = Koefisien Aliran Tahunan

Qtahunan = Debit Tahunan ($m^3/tahun$)

Ptahunan = Tebal Curah Hujan Tahunan ($m/tahun$)

2.2.5 Koefisien Regim Aliran (KRA)

Koefisien Regim Aliran (KRA) adalah perbandingan antara debit maksimum (Q_{maks}) dengan debit minimum (Q_{min}) dalam suatu DAS. Data Q_{maks} dan Q_{min} diperoleh dari nilai rata-rata debit harian (Q) dari hasil pengamatan SPAS (Stasiun Pengamat Aliran Sungai) di DAS yang dipantau. Sedangkan bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya air limpasan terhadap besarnya curah hujan di sebut Koefisien aliran (C).Tebal limpasan (Q) diperoleh dari volume debit (Q , dalam satuan m^3) dari hasil pengamatan SPAS di DAS/Sub DAS selama satu tahun dibagi dengan luas DAS/Sub DAS (ha atau m^2) yang kemudian dikonversi ke satuan mm .

Nilai KRA yang tinggi menunjukkan bahwa kisaran nilai limpasan pada musim penghujan (air banjir) yang terjadi besar, sedangkan pada musim kemarau aliran air yang terjadi sangat kecil atau menunjukkan kekeringan. Secara tidak langsung kondisi tersebut menunjukkan bahwa daya resap lahan di DAS kurang mampu menahan dan menyimpan air hujan yang jatuh dan air limpasannya banyak yang masuk ke sungai dan terbuang ke laut sehingga ketersediaan air di DAS ketika musim kemarau sedikit. Menurut Dirjen RLPS (2009) dalam Sunardi (2016) menyatakan bahwa Koefisien Regim Aliran (KRA) adalah perbandingan antara debit maksimum (Q_{maks}) dengan debit minimum (Q_{min}) dalam suatu DAS, sehingga perhitungan KRA adalah sebagai berikut.

$$KRA = \frac{Q_{maks}}{Q_{min}}$$

Keterangan :

KRA = Koefisien Regim Aliran

Q_{maks} (m^3 / det) = Debit harian rata-rata (Q) tahunan tertinggi

Q_{min} (m^3 / det) = Debit harian rata-rata (Q) tahunan terendah

Menurut Permenhut nomor P. 61/Menhut-II/2014, klasifikasi KRA dibagi menjadi lima yaitu sebagai berikut.

Tabel 2. Klasifikasi koefisien regim aliran

No	Nilai	Kelas
1	$KRA \leq 20$	Sangat rendah
2	$20 < KRA \leq 50$	Rendah
3	$50 < KRA \leq 80$	Sedang
4	$80 < KRA \leq 110$	Tinggi
5	$KRA > 110$	Sangat tinggi

Sumber : Permenhut nomor P. 61/Menhut-II/2014

2.3 Sistem Hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS)

DAS merupakan satu kesatuan hidrologi. DAS penampung air, mendistribusikan air yang tertampung lewat suatu sistem saluran dari hulu ke hilir, dan berakhir di suatu tubuh air berupa danau atau laut. Bersama dengan atmosfer dan laut (atau danau), DAS menjadi tempat kelangsungan daur hidrologi. Hubungan hidrologi

antara atmosfer dan tubuh air bumi dapat berjalan secara langsung, atau lewat peranan DAS (Lin, 2020).

Siklus hidrologi merupakan proses yang berulang dan tidak pernah berhenti. Air menguap dari danau, sungai, laut dan permukaan atmosfer kemudian terkondensasi dan jatuh ke tanah melalui presipitasi. Sebagian air akan menjadi presipitasi Kembali, Sebagian akan terintersepsi oleh tutupan lahan dan masuk ke tanah dan mengalir Kembali sebagai aliran dasar (*baseflow*) dan limpasan permukaan (*surface runoff*). Dari Konsep siklus hidrologi inilah yang menjadikan dasar pemikiran untuk mempelajari siklus hidrologi DAS.

2.4 Geographic Information System (GIS)

Geographic Information System (GIS) adalah suatu sistem yang digunakan untuk menganalisa berbagai data yang berkaitan dengan bentuk atau permukaan bumi. Menurut Damayanti (2017). Data yang dianalisis berbasis geografis dan memiliki titik koordinat tertentu, sehingga dengan GIS kita dapat mengetahui lokasi, kondisi pola serta permodelan sesuai dengan lokasi aslinya (Oswald, 2012). Menurut Wibowo (2015) *Geographic Information System* (GIS) memudahkan visualisasi dan analisis objek berbasis lokasi dan atributnya. Perkembangan teknologi GIS telah banyak di Kembangkan di bidang dan kajian yang berkaitan dengan DAS (Ridwan, 2014). Dalam studi DAS, data yang dianalisis berupa geografis dan memiliki titik koordinat tertentu, sehingga dengan GIS dapat diketahui lokasi, kondisi serta pemodelan yang sesuai dengan lokasi aslinya. Menurut Thornbury (1969) dalam Darwin, dkk (2021) dalam analisis DAS digunakan GIS salah satunya adalah *ArcGIS* yang berfungsi sebagai alat penginput dan menyimpan (manajemen data), analisis data dan pemodelan simulasi data sehingga menghasilkan data dalam informasi spasial (data vector).

2.5 Model Hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS)

Permodelan merupakan gambaran nyata dari suatu sistem dalam bentuk yang dapat diterima untuk menggambarkan bagaimana keadaan karakteristik dari suatu

sistem. Menurut Saifudin (2017) Model hidrologi DAS yang utama terdiri dari 3 tipe yaitu model fisik, digital dan analog. Model fisik merupakan model yang dibuat di laboratorium dalam skala lebih kecil keadaan sebenarnya dengan asumsi bahwa terdapat kesamaan dinamik antara model dengan keadaan sebenarnya. Model analog merupakan model yang menggunakan sistem mekanikal atau listrik yang analog dengan sistem yang diselidiki.

2.6 Soil and Water Assesment Tools (SWAT)

SWAT merupakan pemodelan yang dibuat oleh Dr. Jeff Arnold pada awal 1990-an untuk pengembangan Agricultural Research Service (ARS) dari USDA. Pemodelan SWAT dapat menganalisis, menilai dan mengevaluasi tingkatan permasalahan suatu DAS. Dengan model SWAT, dapat dianalisis perilaku-perilaku hidrologi DAS, salah satunya adalah debit sungai (Arnold, 2011). Pemodelan SWAT ini mempertimbangkan variasi jenis tanah, penggunaan lahan, dan kondisi manajemen DAS dalam jangka waktu yang panjang.

SWAT memungkinkan pelaksanaan beragam analisis dan simulasi dalam suatu DAS. Data input di setiap sub-DAS disusun dalam kategori seperti iklim, Hydrologic Response Unit (HRU), tubuh air, air tanah, bahkan hingga drainase di dalamnya. HRU di setiap sub-DAS memiliki variasi termasuk penutup lahan, jenis tanah, dan pengelolaannya (Neitsch, 2011). Menurut Mulyana (2012) Komponen utama dari SWAT meliputi variabel cuaca, sistem hidrologi, dan karakteristik tanah. Output dari model SWAT adalah kondisi hidrologi berupa nilai debit. Nilai-nilai tersebut menggambarkan kondisi hidrologi terkait kinerja DAS seperti koefisien regim sungai, *Sediment Delivery Ratio*, dan nilai koefisien aliran permukaan. Kinerja model SWAT diukur dengan kalibrasi dan validasi menggunakan kriteria statistik R^2 , dan NSE (Nash-Sutcliffe Model Efficiency). Simulasi hidrologi DAS dapat diterima apabila telah dikalibrasi dan validasi secara statistik. Dalam kalibrasi model umumnya menggunakan data debit observasi (Rau, 2015). Kalibrasi dan validasi model menggunakan regresi dan nilai Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) dan determinasi (R^2). NSE menggambarkan seberapa jauh hasil pengamatan dan output model yang dapat

diterima Sedangkan R2 menggambarkan seberapa jauh hubungan hasil simulasi dengan observasi. Kalibrasi dapat dilakukan secara manual maupun otomatis menggunakan SWAT-CUP.

Berdasarkan Perdirjen BPDASPS No.P2/V-SET/2015 mengenai Panduan Teknis Pemanfaatan model hidrologi dalam pengelolaan DAS, pelaksanaan model SWAT terdiri dari tiga tahap utama. Pertama, tahap awal melibatkan pembuatan batas untuk DAS dan Sub DAS. Kedua, dilakukan pembentukan HRU (*Hydrology Response Unit*). Ketiga, tahap terakhir adalah persiapan dan pelaksanaan SWAT. Dalam menu ArcSWAT, terdapat fitur SWAT Editor yang membantu pengguna untuk mengedit berbagai data input agar sesuai dengan wilayah penelitian. Fungsi menu ini sangat penting dalam perencanaan simulasi pengelolaan daerah aliran sungai.

2.6.1 Karakteristik DAS

Karakteristik DAS merupakan gambaran mengenai keadaan khusus terkait daerah aliran sungai yang dapat dicirikan dengan parameter topografi, tanah, geologi, vegetasi, penggunaan lahan, hidrologi, manusia dan morfometri (Perdirjen BPDASPS, 2013). Parameter morfometri DAS merupakan karakteristik DAS yang sangat penting dan bersifat kuantitatif, berkaitan dengan respon air hujan yang jatuh di dalam DAS tersebut menjadi runoff. Dalam kaitannya dengan analisis hubungan hujan yang jatuh dengan runoff yang terjadi, informasi morfometri DAS umumnya diperlukan untuk menggambarkan adanya hubungan atau keterkaitan antara runoff yang terukur sebagai debit atau tersaji dalam bentuk hidrograf contohnya parameter bentuk DAS berhubungan erat dengan bentuk hidrograf suatu DAS (Pratama, 2017).

parameter DAS termasuk data mengenai lebar dan kedalaman sungai, kemiringan serta panjang lereng, dapat diperoleh melalui peta *Digital Elevation Model* (DEM) yang dimasukkan ketika menjalankan model SWAT. DEM berasal dari sumber seperti peta SRTM (*Shuttle Radar Thematic Mapper*), atau peta kontur. Walaupun informasi-informasi ini dihasilkan melalui DEM, namun perlu dilakukannya

verifikasi atau validasi di lapangan seperti melakukan pengukuran langsung untuk lebar dan kedalaman sungai. Hal ini berguna untuk memastikan bahwa hasil model tidak terlalu menyimpang dari keadaan sebenarnya di lapangan.

2.6.2 Iklim

Iklim mengacu pada kondisi rata-rata cuaca dalam jangka waktu yang panjang di suatu wilayah. Ini mencakup suhu, kelembaban udara, curah hujan, dan faktor-faktor lain yang dapat diukur dari waktu ke waktu. Data iklim yang diperlukan dalam menjalankan ArcSWAT terdiri dari data harian curah hujan (mm), temperature udara maksimum dan minimum ($^{\circ}\text{C}$), radiasi matahari ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{hari}$), kelembaban udara (%), dan kecepatan angin (m/dtk). Data harian yang wajib ada untuk menjalankan ArcSWAT, yaitu curah hujan, temperature maksimum dan minimum. Menurut Apriadi (2022). Data-data yang telah dikumpulkan kemudian dilakukan overlay sehingga membentuk satuan respon hidrologi, yang menjadi unit pengukuran nilai aliran dan fungsi hidrologi.

2.6.3 Karakteristik Tanah

Karakteristik tanah memengaruhi kondisi hidrologi DAS. Sifat fisik tanah, seperti tekstur, struktur, dan kedalaman lapisan tanah, mempengaruhi kapasitas infiltrasi dan retensi air, yang memengaruhi aliran permukaan dan aliran dasar dalam DAS (Aziz, 2019). Tanah dengan kandungan liat tinggi memiliki laju infiltrasi yang rendah sehingga aliran permukaan meningkat dan mempercepat respons hidrologi DAS terhadap hujan.

Menurut Faiz dan Prijono (2021) menyatakan bahwa pengambilan sampel tanah ada dua yaitu contoh tanah terganggu dan contoh tanah tak terganggu. Untuk mendapatkan data karakteristik tanah, langkah pertama adalah membuat profil tanah tiap titik pengambilan sampel. Pada tahap ini, sifat morfologis diamati, termasuk jumlah lapisan, kedalaman akar, ketebalan horison tanah, serta komposisi bahan kasar dan struktur tanah. Setelah profil dibuat, dilakukan pengambilan contoh tanah utuh dan contoh tanah terganggu dari setiap horison

tanah yang kemudian di analisis di laboratorium. Hasil analisis dari contoh tanah utuh mencakup bobot isi, kadar air tersedia, dan permeabilitas. Sedangkan contoh tanah terganggu digunakan untuk analisis tekstur tanah dan C-organik.

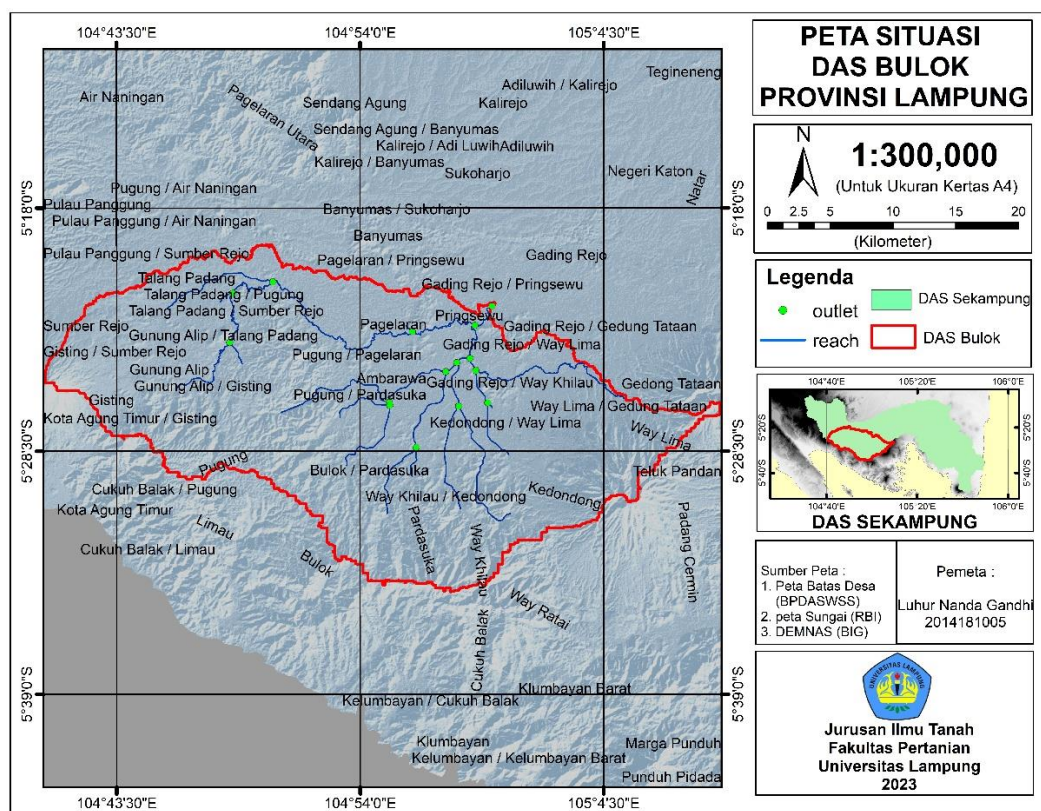
2.6.4 Tutupan dan Pengelolaan Lahan

Menurut Apriadi (2022) Database SWAT untuk tutupan lahan membutuhkan informasi yang detil untuk setiap tutupan lahan, mulai dari indeks luas daun, suhu optimum untuk pertumbuhan tanaman, indeks panen, faktor C minimum untuk tutupan lahan , bilangan kurva hingga berapa banyak residu yang tersisa di permukaan lahan dan beberapa parameter lainnya. Beberapa parameter penting yang perlu diidentifikasi sesuai dengan kondisi daerah studi yaitu nilai bilangan kurva (CN2). Penentuan bilangan kurva dilakukan setelah pengguna menentukan padanan nama untuk setiap tutupan lahan, kelompok hidrologi tanah dan kandungan kelembaban tanah awal (*Antecedent Moisture Condition/AMC*).

III. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2023 sampai dengan Januari 2024. Lokasi penelitian yaitu pada DAS Bulok, secara administrasi meliputi wilayah Kabupaten Tanggamus, Pringsewu, dan Pesawaran, Provinsi Lampung.



Gambar 2. Peta Situasi DAS Bulok
(Sumber : BPDAS WSS)

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah device atau laptop, software ArcGIS versi 10.3, ArcSWAT versi 10.3, Spotlens (kamera timestamp), Microsoft Office (Excel dan Access) 2021 dan alat tulis. Sedangkan, bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta DEM, peta jenis tanah, peta tutupan lahan, iklim tahun 2015-2022, serta data debit tahun 2015-2022.

3.3 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder sebagai berikut :

3.3.1 Data Primer

Data primer pada penelitian ini adalah data nyata yang ada di lapang yang di dapatkan pada hasil observasi di lapangan (*groundcheck*). Kegiatan turun lapang tersebut. Untuk menentukan kondisi tutupan lahan di DAS dengan aktual pada penelitian ini dilakukan analisis berdasarkan peta penggunaan lahan tahun 2022 dan citra spot 2022. Di lakukan *Grouncheck* pada masing-masing tutupan lahan yang didapatkan yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana kondisi tutupan lahan aktual yang ada di lapangan. *Groundcheck* pada kondisi aktual tutupan lahan pada penelitian ini digunakan aplikasi avenza dan aplikasi spotline (*time stamp*).

3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder penelitian ini didapatkan dari beberapa instansi dan website resmi untuk melengkapi input SWAT yang dibutuhkan untuk menjalankan (*running*) model SWAT. Data sekunder yang digunakan pada input SWAT yaitu sebagai berikut :

1. Data iklim yang meliputi curah hujan, kelembaban udara, penyinaran matahari, temperatur, suhu udara, kecepatan angin tahun 2015 sampai dengan

2022 yang akan diolah menggunakan excel sesuai dengan database SWAT
(Sumber data : BMKG Branti)

2. Peta *Digitasi Elevation Model* (DEM), citra spot tahun 2022
(Sumber data : DEMNAS)
3. Peta jenis tanah DAS Bulok tahun 2022 (Sumber data : Balai Besar
Sumberdaya Lahan Pertanian (Pusat Penelitian Tanah)).
4. Data karakteristik tanah DAS Bulok (Sumber data : Balai Pengelolaan Daerah
Aliran Sungai Way Seputih-Way Sekampung).
5. Peta penggunaan lahan DAS Bulok tahun 2022 (Sumber data : Badan
Informasi Geospasial (BIG) dan Ditjen Planologi Kementerian Lingkungan
Hidup dan Kehutanan RI)
6. Data data debit dan hujan harian pada DAS Bulok tahun 2015 sampai dengan
2022 (Sumber data : Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Way Seputih
Sekampung).

Nilai-nilai parameter input model SWAT ditentukan berdasarkan hasil pengamatan di lapangan dan data sekunder. Kedua hal tersebut membantu dalam memodelkan kondisi hidrologi dan manajemen daerah aliran sungai dengan berbagai skenario.

3.4 Metode Penelitian

3.4.1 Parameter Input Model SWAT

Parameter yang di input kedalam model SWAT adalah karakteritik tanah, karakteristik tutupan lahan, karakteristik iklim, dan karakteristik lereng. Yang dijabarkan sebagai berikut.

a. Karakteristik Tanah

Karakteristik tanah digunakan sebagai data masukan untuk mengidentifikasi sifat hidrologi di wilayah DAS (Daerah Aliran Sungai). Proses penentuan karakteristik tanah ini mengacu pada nilai permeabilitas pada setiap lapisan horizon tanah, yang dapat diidentifikasi melalui pengamatan lapangan serta analisis di laboratorium untuk mengetahui nilai permeabilitasnya. Hasilnya dikelompokkan

berdasarkan *Hydrology Soil Group* (HSG). Hidrologi tanah dikategorikan menjadi empat kelompok berdasarkan tekstur tanah. Data tanah yang terdiri dari peta tanah dan data karakteristik tanah. Sumber peta tanah yang digunakan pada penelitian ini yaitu peta tanah dari Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian (Pusat Penelitian Tanah). Karakteristik tanah DAS Bulok yang digunakan berasal dari BPDAS WSS

Data karakteristik tanah yang digunakan sebagai input model SWAT adalah kedalaman solum, kedalaman lapisan horizon tanah, kandungan bahan organik tanah (C-Organik), permeabilitas tanah, dan erodibilitas tanah (USLE).

Pentingnya karakteristik tanah dalam model SWAT adalah karena sifat-sifat tersebut mempengaruhi sejauh mana air dapat meresap ke dalam tanah, seberapa cepat aliran permukaan terbentuk. Nilai potensi aliran permukaan sangat dipengaruhi oleh karakteristik tanah seperti kedalaman solum, tekstur tanah, struktur tanah, kemantapan agregat, dan permeabilitas tanah. Menurut Arsyad (1989) HSG berdasar SCS dikelompokkan kedalam empat kelompok yang ditandai dengan huruf A, B, C, dan D yang dijabarkan sebagai berikut ini.

1. Grup A : Pasir dalam, loess dalam, debu yang beragregat
2. Grup B : Loess dangkal, lempung berpasir
3. Grup C : Lempung berliat, lempung berpasir dangkal, tanah berkadar bahan organik rendah, dan tanah-tanah berkadar liat tinggi
4. Grup D : Tanah-tanah yang mengembang secara nyata jika basah, liat berat, plastis, dan tanah tanah saline tertentu

b. Karakteristik Tutupan Lahan

Karakteristik tutupan lahan sangat berpengaruh terhadap proses hidrologi yang ditunjukkan oleh nilai bilangan kurva aliran permukaan (*runoff curve number*). Nilai CN (*Curve Number*) adalah nilai hasil analisis secara empiris berdasarkan fungsi faktor kelompok hidrologi tanah, kompleks penutupan lahan dan kondisi kandungan air tanah awal. Karakteristik tutupan lahan sangat memengaruhi proses hidrologi di suatu Daerah Tangkapan Air pada DAS Bulok. Data tutupan lahan menggunakan citra spot tahun 2022 dan peta tutupan lahan tahun 2022 dari Ditjen Planologi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI yang

divalidasi dengan *groundcheck*. Penentuan kondisi aktual tutupan lahan di lapangan terdiri dari: tutupan tajuk tanaman (*canopy cover*), tutupan permukaan (*surface cover*) dan kegiatan pengelolaan yang dilakukan pada masing-masing penggunaan lahan di wilayah DAS Bulok.

c. Karakteristik Iklim

Data iklim dan curah hujan yang digunakan di DAS Bulok adalah periode tahun 2015- 2022. Data iklim yang digunakan sebagai input model SWAT untuk DAS Bulok diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Branti di Provinsi Lampung dan curah hujan harian di dapatkan dari Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung. Data iklim diolah dengan menggunakan Microsoft Excel untuk menyesuaikan input pemodelan SWAT. Data iklim digunakan sebagai input pembangkit dalam model SWAT pada Tabel 3.

Tabel 3. Data iklim yang digunakan pemodelan SWAT

No	Parameter	Satuan
1	Radiasi matahari	Mj/m ² /hari
2	Temperatur udara maksimum dan minimum	°C
3	Kelembaban udara relatif	%
4	Kecepatan angin	m/s
5	Curah Hujan Harian	mm

Sumber : Badan Meteorologi dan Klimatologi Geofisika Branti 2015-2020

Data yang digunakan sebagai input *pcp.text* dalam model SWAT meliputi periode 2015-2022. Data iklim dan curah hujan diinput kedalam model SWAT dalam bentuk file *txt*. Data iklim 8 (delapan) tahun tersebut dihitung rata-ratanya sebagai pembangkit iklim yang diintegrasikan dengan file *weather generator* dalam *Microsoft Acces 2012 database* SWAT.

d. Karakteristik lereng

Data lereng di DAS Bulok dibangun menggunakan data DEM (*Digital Elevation Model*). Kelas lereng dibagi menjadi lima kelas berdasarkan klasifikasi Depertemen Kehutanan tahun 1998 yaitu kelas datar (0-8%), kelas landai (8-15%), kelas agak curam (15-25%), kelas curam (25-40%), dan kelas sangat curam (>40%). Kondisi topografi pada DAS Bulok dianalisis menggunakan ArcGIS 10.3 berdasarkan dengan data DEMs

3.4.2 Analisis Model SWAT

Analisis model SWAT pada penelitian ini yaitu deliniasi DAS, analisis data iklim dan data input Tabel, perbaikan data pada inputan model, setup dan run SWAT dan output model. Beberapa analisis model SWAT tersebut adalah sebagai berikut.

a. Deliniasi DAS

Tahap awal dalam pemodelan hidrologi menggunakan model SWAT adalah proses deliniasi DAS. Tahapan yang dilalui dalam proses ini meliputi mengimpor data DEM dari lokasi penelitian ke dalam model SWAT (*add DEM grid*), menentukan batas DAS dengan memasukkan batasan yang telah ditentukan (*input delinate DAS*), dan mengidentifikasi jaringan sungai (*click stream definition*) yang berguna untuk mengidentifikasi aliran air di dalam DAS. Selain itu, *DEM-Based* digunakan untuk menentukan luas DAS yang dianalisis dalam model SWAT, serta mendefinisikan lokasi outlet dan inlet DAS (*outlet and inlet definition*). Proses berikutnya adalah pemilihan dan penentuan outlet DAS yang menjadi fokus penelitian (*click watershed outlet selection and definition*). Akhirnya akan terbentuk limpasan, aliran sungai, dan infiltrasi perhitungan parameter hidrologis DAS (*calculate subbasin parameter*)

b. Analisis data iklim dan data input Tabel

Pendefinisian data iklim dalam model SWAT berupa database, melalui *weather generator* (WGN User) dan data Tabel lainnya untuk mendefinisikan data curah hujan, temperatur, kelembaban udara, radiasi matahari dan kecepatan angin yang digunakan (*file.txt*). Input Data Iklim setelah pembentukan HRU. Data generator iklim yang telah dibuat digunakan untuk input data dalam *weather data definition*. Setelah itu, dilakukan pemasukan input data curah hujan, kelembaban udara, suhu maksimum dan minimum, radiasi matahari, serta kecepatan angin. Setelah data iklim dimasukkan dan berhasil *running*, selanjutnya memasukkan informasi data input ke dalam basis data. Data input terbentuk berdasarkan hasil deliniasi DAS dan karakterisasi dari penggunaan lahan, tanah, dan lereng. Pembuatan input data dilakukan dengan memilih opsi *Write All*. Default input ini dapat diedit dengan memasukan data input menggunakan menu Edit SWAT Input. Weather generator

yang digunakan dalam model ini dibangun dengan menggunakan data iklim 8 tahun dari BMKG Branti.

c. Perbaikan Data Masukan Model

Tahapan ini merupakan upaya melakukan perbaikan data masukan model SWAT melalui menu Edit SWAT Input. Database yang dapat diperbaiki terdiri dari: sub basin data (*Subbasins Data*), *groundwater, management*, HRU data, parameter penelusuran aliran/routing, parameter aliran dasar, parameter pengelolaan tanaman, parameter sampel tanah dan pengolahan tanah, serta *watershed* data.

d. Setup dan Run SWAT

Tahap selanjutnya adalah *running* SWAT yaitu penggabungan HRU dengan data iklim yang dilakukan setelah satuan analisis terbentuk. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Tahap pertama melakukan pengisian kolom tanggal mulai dan tanggal akhir simulasi yang dilakukan.
2. Tahap kedua memilih distribusi curah hujan yang digunakan dari tahun 2015-2022 dengan *warmingup* 7 tahun.
3. Tahap ketiga memilih menu *Setup SWAT Run*
4. Tahap terakhir, yaitu *Run SWAT*. Proses simulasi SWAT

e. Output Model

Model SWAT menghasilkan output file yang terpisah untuk Subbasin, Sungai utama beserta alirannya. Informasi yang terdapat dalam file Subbasin (*output.sub*) terdiri dari jumlah curah hujan (*PRECIP*), aliran permukaan (*SURQ*), *subsurface runoff* (*LATQ*), aliran bawah tanah (*GW_Q*), dan Sedimentasi. Data dan Informasi pada masing-masing sungai atau saluran utama (*output.rch*) terdiri dari *FLOW_IN* dan *FLOW_OUT*. Pada penelitian ini output file yang digunakan adalah jumlah aliran air sungai yang keluar (*FLOW_OUT*).

3.4.3 Akurasi Model (Kalibrasi dan Validasi)

Pada tahap kalibrasi serta validasi dilakukan analisis untuk mengetahui baik atau tidaknya permodelan yang digunakan menggunakan metode statistik Nash-Sutcliffe

Efisiensi (NSE). Persamaan NSE ini dapat dirumuskan sebagai berikut (Apriadi, 2022).

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sin})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - \overline{Y^{obs}})^2} \right]$$

Keterangan:

Y_i^{obs} = Data observasi ke-I,

Y_i^{sin} = Data simulasi ke-I,

$\overline{Y^{obs}}$ = Data observasi rata-rata,

$\overline{N}$ = Jumlah observasi

Nilai NSE (*Nash-Sutcliffe Efficiency*) digunakan dalam hidrologi dan model-model hidrologi untuk mengukur sejauh mana model memprediksi data observasi dengan baik. Rentang nilai NSE yaitu antara 0 hingga 1, dimana nilai NSE = 1 merupakan nilai optimal yang menunjukkan bahwa model secara sempurna memprediksi data observasi. Rentan nilai NSE antara 0.0 hingga 1.0 secara umum dianggap sebagai performa model yang dapat diterima, dengan semakin mendekati 1.0 menunjukkan performa yang semakin baik. Pada nilai $NSE \leq 0.36$ mengindikasikan bahwa model memberikan prediksi yang buruk dan mendekati nilai data simulasi. Ini adalah performa yang tidak memuaskan karena model tidak dapat mengikuti data observasi dengan baik (Motovilov 1999 dalam Apriadi 2022). nilai efisiensi NSE dapat dikelompokkan sebagai berikut.

Tabel 4. Nilai NSE Kalibrasi

No	Nilai NSE	Kategori
1	$NSE > 0,75$	Baik
2	$0,75 > NSE > 0,36$	Memuaskan
3	$0,36 < NSE$	Tidak memuaskan

Sumber: Motovilov, 1999 dalam Apriadi 2022

3.4.3 Skenario Tutupan Lahan

Skenario tutupan lahan dari penelitian ini merupakan suatu upaya yang dilakukan untuk menerapkan strategi pada pengelolaan guna meningkatkan karakteristik hidrologi pada DAS. Tujuan dilakukannya pembuatan skenario tutupan lahan ini

adalah untuk memprediksi dampak dari skenario tersebut terhadap karakteristik hidrologi DAS Bulok yang mencakup berbagai parameter seperti curah hujan, Koefisien Regim Aliran (KRA), *surface runoff* (aliran permukaan), *subsurface runoff* (aliran bawah permukaan), Koefisien Aliran Tahunan (KAT), *baseflow* (aliran dasar) (Apriadi, 2022). Penjelasan mengenai skenario dan hasil yang diharapkan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut.

Skenario dilakukan berdasarkan Pasal 18 dalam Undang Undang Republik Indonesia Tahun 1999 Tentang Kehutanan pada ayat 2 yang berbunyi “Luas kawasan hutan yang harus dipertahankan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) minimal 30% (tiga puluh persen) dari luas daerah aliran sungai dan atau pulau dengan sebaran yang proposional”. Pasal ini menetapkan bahwa luas kawasan hutan yang harus dipertahankan minimal sebesar 30% dari luas daerah aliran sungai dan/atau pulau, dengan sebaran yang disesuaikan dengan Peta Kawasan Hutan DAS Bulok.

Dengan mengacu pada Pasal 18 Ayat 2 UU No. 41 Tahun 1999, skenario ini bertujuan untuk menilai sejauh mana pemeliharaan minimal 30% luas kawasan hutan dapat berkontribusi dalam menjaga keseimbangan hidrologi DAS Bulok. Skenario ini melibatkan perubahan tutupan lahan di DAS Bulok sehingga menjadi 30% Kawasan hutan pada total dari seluruh tutupan lahan di DAS Bulok .

Skenario ini tidak hanya memenuhi ketentuan hukum yang mengatur pengelolaan hutan, tetapi juga memberikan tetapi juga memberikan wawasan mengenai dampak keberlanjutan kawasan hutan terhadap karakteristik hidrologi DAS Bulok serta memberikan kontribusi penting dalam upaya pelestarian ekosistem hidrologi yang vital bagi keberlanjutan DAS Bulok.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian analisis hidrologi DAS Bulok yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Aliran permukaan, aliran bawah permukaan pada DAS Bulok 18,92 % dan 17,44% dan aliran dasar sebesar 15,72% tetapi evapotranspirasi DAS Bulok 47,51%. Hal ini menunjukkan bahwa Sebagian besar curah hujan menguap ke atmosfer, sementara sisanya melimpas dan sedikit yang meresap ke dalam tanah.
2. Koefisien Regim Aliran (KRA) termasuk kelas sangat tinggi, yang menunjukkan bahwa debit pada DAS pada musim penghujan sangat tinggi sedangkan ketika musim kemarau rendah, mengindikasikan adanya fluktuasi debit yang signifikan. Nilai Koefisien aliran tahunan (KAT) DAS Bulok sebesar kelas sedang yang menunjukkan bahwa curah Sebagian besar curah hujan menjadi aliran permukaan sebesar 36%
3. Skenario perubahan tutupan lahan hutan menjadi 31,37 % mampu mempengaruhi karakteristik hidrologi DAS Bulok sebagai berikut:
 - a. Dengan skenario ini, terjadi peningkatan infiltrasi dan aliran bawah permukaan serta penurunan aliran permukaan. Surface runoff menurun sebesar 7,97%, sementara subsurface runoff meningkat sebesar 1,15% dan baseflow meningkat sebesar 10,55%. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan hutan mampu meningkatkan kapasitas tanah untuk menyerap air hujan.
 - b. Koefisien Regim Aliran (KRA) membaik menjadi kelas tinggi dari sebelumnya sangat tinggi, menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan mampu mengurangi rasio antara aliran permukaan dan total aliran secara signifikan. Nilai KAT menurun yang mengindikasikan bahwasannya terjadi peningkatan kapasitas

tanah dalam menyerap dan menyimpan air walaupun tidak signifikan

5.2 Saran

Berdasarkan Analisis karakteristik hidrologi DAS Bulok dengan menggunakan pemodelan SWAT dan skenario perubahan tutupan lahan hutan berdasarkan Pasal 18 Undang Undang Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Kehutanan didapatkan hasil bahwa DAS Bulok ini memiliki hidrologi yang buruk dan ketika dilakukan skenario terjadi perbaikan hidrologi, namun kondisi ini belum optimal dalam memperbaiki karakteristik hidrologi DAS Bulok. Oleh karena itu perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan strategi pengelolaan yang paling efektif untuk memulihkan kualitas hidrologi DAS Bulok sertanya perlu penambahan beberapa Stasiun Curah Hujan dan Iklim seperti dari Stasiun Curah Hujan Panutan, Way Gatel, dan Sukoharjo agar lebih akurat dan data data sekunder yang lebih baik untuk mendapatkan pemodelan yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhani, N., Satriyo, P., dan Syahrul. 2023. Kajian Karakteristik Hidrologi DAS Jambo Aye. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. Vol. 8 No. 1 : 283-288.
- Amini, R. 2022. Pemetaan Lokasi Potensial Perencanaan Pembangunan Embung Berdasarkan Kondisi Biogeofisik Di Das Bulok Provinsi Lampung. *Tesis*. Universitas Lampung.
- Andrian. 2014. Pengaruh Ketinggian Tempat Dan Kemiringan Lereng Terhadap Produksi Karet (*Hevea brasiliensis Muell. Arg.*) Di Kebun Hapesong Ptpn Iii Tapanuli Selatan. *Jurnal Online Agroteknologi*. Vol 2. No.3 : 981-989
- Andriani., Arifjaya, M. R., Mulyana, N. 2016. Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Koefisien Rezim Aliran Menggunakan Model SWAT Di Sub DAS Cilebak. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor.
- Apriadi. (2022). Karakteristik Hidrologi DAS Ilahan Menggunakan Pemodelan SWAT (Soil Water Assesment Tools). *Tesis*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Arnold, J.G. 2012. SWAT: Model Use, Calibration, and Validation. *Transactions of the ASABE*. 55 : 1549-1559.
- Asdak, C. 2010. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Auliana, A., Ridwan, I., & Nurlina, N. 2017. Analisis Tingkat Kekritisan Lahan di DAS Tabunio Kabupaten Tanah Laut. *Jurnal POSITRON*. Vol. 7 No. 2 : 54-59.
- Aziz, S.A. 2019. Kajian Pengaruh Kandungan Silt Dan Clay Terhadap Perilaku Plastisitas Tanah. *Tesis*. Universitas Komputer Indonesia.
- Azizah, C., Pawitan, H., Nuraida, Striawan, H., Abbas, R.S., & Misnawati. 2021. Karakteristik Hidrologi dan Dampaknya Terhadap Banjir Daerah Aliran Sungai Jambo Aye di Aceh Indonesia. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Vol.5 No.2 :171-184.

- Banuwa, I. S. 2008. Pengembangan Alternatif Usaha Tani Berbasis Kopi untuk Pembangunan Pertanian Berkelanjutan di DAS Sekampung Hulu. *Disertasi*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Banuwa, I. S., Sinukaban, N., Tarigan, D. S., & Darusman, D. 2008. Evaluasi kemampuan lahan DAS Sekampung Hulu. *Jurnal Tanah Tropika*. Vol 13. No1: 145–153.
- Banuwa, I. S. 2013. *Erosi*. Kencana Prenada media Group. Jakarta.
- Banuwa, I. S. 2013. *Pengelolaan Hutan Dan Daerah Aliran Sungai Berbasis Masyarakat : Pembelajaran Dari Way Besai Lampung*. Anugrah Utama Raharja (AURA). Bandar Lampung. 271 Halaman.
- Badaruddin, Kadir, S., & Nisa, K. 2021. *Buku Ajar Hidrologi Hutan*. CV. Batang. Banjarmasin.
- BPDAS. 2015. *Monitoring dan Evaluasi DAS Sekampung*. BPDAS Way Seputih Way Sekampung Press. Lampung.
- Broгна, D., Vincke, C., Brostaux, Y., Soyeurt, H., Dufrene, M., & Dendoncker, N. (2017). How does forest cover impact water flows and ecosystem services? Insights from “real-life” catchments in Wallonia (Belgium). *Ecological Indicators*. Vol.72 : 675–685.
- Darwin., Syahrul., & Basri, H. 2021. Analisis Karakteristik Hidrologi DAS Krueng Aceh, Provinsi Aceh (Studi Kasus Sub DAS Krueng Jreu dan Sub DAS Krueng Khea). *Jurnal Rona Teknik Pertanian*. Vol.14 No.1. Hal : 60-61.
- Dirjen RLPS. 2009. *Pedoman Monitoring Dan Evaluasi Daerah Aliran Sungai*. Salinan Kepala Bagian Kepegawaian Hukum dan Organisasi. Jakarta
- Direktorat Jenderal Bina Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial. 2015. *Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial Petunjuk Teknis Pemanfaatan Model Hidrologi dalam Pengelolaan DAS*. Jakarta. Indonesia.
- Faiz, A. M., & Prijono, S. 2021. Perbedaan Kemampuan Tanah Dalam Menahan Air Pada Berbagai Kelerengan Lahan Kopi Di Daerah Sumbermanjing Wetan, Kabupaten Malang. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. Vol. 8 No. 2: 481-491.
- Gafuri, R., Ridwan, I., & Nurlina. 2016. Analisis Limpasan Permukaan (Runoff) pada SUB-SUB DAS Riam Kiwa Menggunakan Metode COOK. *Jurnal Fisika Flux*. Vol 13, No 1:89-100.

- Halim, F. 2014. Pengaruh Hubungan Tata Guna Lahan Dengan Debit Banjir Pada Daerah Aliran Sungai Malalayang. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*. Vol. 4 No. 1 : 45-54.
- Indarto. 2010. *Hidrologi; Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Bumi Aksara. Jakarta.
- Izzatudinillah, I., Barus, B., Rachman, M. L. 2023. Analisis Penggunaan Lahan dan Pola Ruang Berbasis Koefisien Regim Aliran (KRA) pada DAS AIR Bengkulu. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. Vol. 25 No. 2.
- Junaidi, E. 2015. Pemanfaatan Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Sebagai Alat Pengambil Keputusan dalam Pengelolaan DAS (Studi Kasus di DAS Cisadane). *Jurnal Teknik Hidraulik*. Vol. 6 No.2. 147-162.
- Latifah, I. 2013. Analisis Ketersediaan Air, Sedimentasi, dan Karbon Organik dengan Model SWAT Di Hulu DAS Jeneberang, Sulawesi Selatan. *Tesis*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Lin, B., Chen, X., & Yao, H. 2020. *Threshold of sub-watersheds for SWAT to simulate hillslope sediment generation and its spatial variations*. *Ecological Indicators*. 111(8) : 106040.
- Masnang, A., Sinakuban, N., & Sudar. 2014. Kajian Tingkat Aliran Permukaan dan Erosi Pada Berbagai Tipe Penggunaan Lahan di Sub DAS Jeneberang Hulu. *Jurnal Agroteknos*. Vol. 4. No. 1 : 32-37.
- Motovilov, Y.G., Gottschalk, L., Engeland, K., & Rodhe, A. 1999. Validation of a Distributed Hydrological Model Against Spatial Observations. *Elsevier Agricultural and Forest Meteorology*. 98 : 257-277
- Mulyana, N. 2012. Analisis Luas Tutupan Hutan terhadap Ketersediaan Green Water dan Blue Water di Sub DAS Gumbasa dan Sub DAS Cisadane Hulu 46 dengan Aplikasi Model SWAT. *Disertasi*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Muharomah, R. 2014 . Analisis Runoff Sebagai Dampak Perubahan Lahan Sekitar Pembangunan *Underpass* Simpang Patal Palembang Dengan Memanfaatkan Teknik *GIS*. *Jurnal Teknik dan Lingkungan*. Vol.2 No.3.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. 2005. Soil and Water Assesment Tool Theoretical Documentation. Agriculture Research Service and Texas. *Agricultur Experiment Station*. Texas.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. 2011. Soil and Water Assesment Tool Theoretical Documentation version 2009. *College Station*. Texas Water Resources Institute. Texas.

Pemerintah Republik Indonesia. 1999. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Pasal 18 Ayat 2 Tahun 1999 tentang Kehutanan*. Jakarta.

Pemerintah Republik Indonesia. 2012. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Buku. Kementrian Hukum dan Hak Asasi Manusia. Jakarta..

Pemerintah Republik Indonesia. 2014. *Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor 61 Tahun 2014 Tentang Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia. Jakarta.

Pemerintah Republik Indonesia. *Undang-undang (UU) Nomor 17 Tahun 2019 Pasal 1 ayat 8 tentang Sumber Daya Air*. 2019. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.

Pratama, W dan & Yuwono, S., B. 2016 Analisis Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Karakteristik Hidrologi di DAS Bulok. *Skripsi*. Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian. Universitas Lampung.

Rahman, M. L., Nursari, E., dan Baskoro. 2018. Pengaruh Embung Dan Kombinasinya Dengan Teknik Konservasi Tanah Dan Air Lainnya Terhadap Koefisien Regim Aliran Dan Koefisien Aliran Tahunan. *Jurnal Geografi Lingkungan Tropik*. Vol. 2 No. 2.

Rau, M. I., Pandjaitan, N., & Sapei, A. 2015. Analisis Debit Sungai dengan Menggunakan Model SWAT pada DAS Cipasauran Banten. *Jurnal Keteknikan Pertanian*. Vol. 3 No.2: 113-120.

Ridwan. 2014. Integrasi Pola Operasi Bendungan dan Bendung Berbeda Basis Waktu untuk Kebutuhan Irigasi. *Disertasi*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Riswulan, Y.F., Banuwa, S. I., Damai, A. A., & Suroso, E. 2021. Kajian Dampak Kerusakan Sub Daerah Aliran Sungai Bulok Terhadap Karakteristik Hidrologi. *Journal Of Sustainable Development Researchol*. Vol. 01 No 01 :47-48.

Rosafila, N.A. 2022. Analisis Debit Sungai Sub-Das Bulok Menggunakan Model Swat (Soil Water Assessment Tool). *Skripsi*. Universit Lampung.

Saifudin, I. 2017. Kajian Respon Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Karakteristik Hidrologi Das Garang. *Tesis*. Universitas Diponegoro. Semarang.

Salim, A. G., Dharmawan, I. W. S., & Narendra, B. D.2019. Pengaruh Perubahan Luas Hutan Terhadap Karakteristik Hidrologi DAS Citarum Hulu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. Vol. 17 No 2: 333-340.

- Arsyad, S. 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Sinukaban N., 2007. Peranan Konservasi Tanah dan Air dalam Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Dalam Fahmudin Agus et al (2007). Bunga Rampai Konservasi Tanah dan Air. Jakarta: Pengurus Pusat Masyarakat Konservasi Tanah dan Air Indonesia 2004-2007.
- Suriadikusumah, A., Hudaya, R., & Sutanto, S. A. 2014. Pengaruh kemiringan lereng dan penggunaan lahan terhadap beberapa sifat fisika tanah di sub DAS Cikapundung Hulu. *Soilrens Journal*. Vol.12 No.1 :23-24.
- Susetyaningsih, A. 2012. Pengaturan Penggunaan Lahan di Daerah Hulu DAS Cimanuk Sebagai Upaya Optimalisasi Pemanfaatan Sumberdaya Air. *Jurnal Penelitian Jurnal STT-Garut*. Vol.10 No. 1.
- Sunardi. 2016. Analisis Koefisien Aliran dan Koefisien Regim Sungai Sebagai Parameter Penilaian Kekritisitas DAS. *Skripsi*. Universitas Mataram. Mataram.
- Sunandar, A. D. 2016. Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Respon Hidrologis di DAS Asahan. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*. Vol. 13 No. 1 : 49-60.
- Suryono, N., Apriadi., Alawiyah, Z. M. P., & Dewi, B. S. 2018. *Analysis Of Land Cover Changes To Flow Regime Coefficients And Surface Flow Conditions*. Proceeding of International Conference of 3rd SHIELD 2018.
- Tanika, L. 2016. *Fungsi Hidrologi Pada Daerah Aliran Sungai*. Icrat. Bogor.
- Yuwono, S. B. 2000. Studi Karakteristik Fisik DAS Way Rarem Bagian Hulu, Lampung Utara. *Jurnal Manajemen dan Kualitas Lingkungan*. Vol 1. No.3.
- Yuwono, S. B. 2011. Land Use Planning of Way Betung Watershed for Sustainable Water Resources Development of Bandar Lampung City. *Journal Tropical Soil*. Vol 16 No.1 : 77-84
- Wibowo, K. M., Kanedi, I., & Jumadi, J. 2015. Sistem Informasi Geografis (SIG) Menentukan Lokasi Pertambangan Batu Bara di Provinsi Bengkulu Berbasis Website. *Jurnal Media Infotama*. Vol.11 No.1: 51-60.
- Widiyanto, A., Dan Hani, A. 2018. Pola Dan Evaluasi Penggunaan Lahan Di Sempadan Sungai Cinangka, Sub Daerah Aliran Sungai Cimanuk Hulu. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran*. Vol. 2 No. 1 : 61-72
- Yuwono, S. B., Tribiyono, B., & Banuwa, I. S. 2018. Estimasi erosi dan potensi sedimen dan batutege di das sekampung hulu dengan metode sdr (*Sediment Delivery Ratio*). *Jurnal Hutan Tropis*. Vol.6 No.2: 161-169.

- Yuwono, S. B., Artika, E., Banuwa, I. S., Setiawan, A., Bakri, S., & Wahono, E. P. 2022. The effect of land cover forest on fluctuations in availability of water in the Batutegi Dam, Lampung, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1027(1).
- Yusuf, A. 2021. Pengaruh Tutupan Lahan Terhadap Base Flow Index Daerah Aliran Sungai Way Seputih Lampung. *Tesis*. Bandar Lampung.
- Zhang, J., Song, J., Cheng, L., Zheng, H., Wang, Y., Huai, B., Sun, W., Qi, S., Zhao P., Wang, Y., & Li, Q. 2019. *Baseflow* estimation for catchments in the Loess Plateau, China. *Journal of Environmental Management*. Vol. 233 : 264–270.