

**PENGAPLIKASIAN *GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM* (GIS)
DALAM MENGANALISIS KARAKTERISTIK HIDROLOGI DAS
BETUNG MENGGUNAKAN PEMODELAN SWAT
(*Soil and Water Assessment Tool*)**

(Skripsi)

Oleh

**FAZRYAN ADE PRIAMBUDY
2014181007**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

**PENGAPLIKASIAN *GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM* (GIS)
DALAM MENGANALISIS KARAKTERISTIK HIDROLOGI DAS
BETUNG MENGGUNAKAN PEMODELAN SWAT
(*Soil and Water Assessment Tool*)**

Oleh

FAZRYAN ADE PRIAMBUDY

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Ilmu Tanah
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PENGAPLIKASIAN *GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM* (GIS) DALAM MENGANALISIS KARAKTERISTIK HIDROLOGI DAS BETUNG MENGGUNAKAN PEMODELAN SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)

Oleh

Fazryan Ade Priambudy

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya. Peningkatan populasi penduduk menyebabkan perubahan tutupan lahan yang mengakibatkan penurunan fungsi hidrologi DAS Betung. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya konservasi tanah dan air. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah analisis karakteristik hidrologi menggunakan pemodelan SWAT. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis karakteristik hidrologi DAS Betung yang meliputi aliran permukaan, aliran bawah permukaan, aliran dasar, KRA dan KAT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada DAS Betung memiliki curah hujan sebesar 2055 mm/tahun dengan aliran permukaan yang dihasilkan 164,41 mm, aliran bawah permukaan 534,42 mm, dan aliran dasar 240,04 mm. Koefisien Rezim Aliran (KRA) bernilai 178,05, dengan kategori sangat tinggi, sedangkan Koefisien Aliran Tahunan (KAT) bernilai 0,34, dengan kategori sedang. Skenario rekayasa tutupan lahan dengan mengubah tutupan lahan hutan menjadi 54,55% menunjukkan pengaruh terhadap karakteristik hidrologi DAS Betung. Aliran permukaan menurun 13,87% menjadi 144,39 mm, aliran bawah permukaan meningkat 5,71% menjadi 566,76 mm, dan aliran dasar meningkat 12,77% menjadi 275 mm. Selain itu, KRA membaik menjadi 78,20 dan KAT meningkat menjadi 0,35. Penerapan model SWAT dapat memberikan informasi mendalam dalam menentukan kebijakan pengelolaan DAS yang lebih baik.

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

ABSTRACT

APPLICATION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) IN ANALYZING THE HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE BETUNG WATERSHED USING SWAT MODELING (Soil and Water Assessment Tool)

By

Fazryan Ade Priambudy

A Watershed (DAS) is a land area that functions as a single unit with its river and its tributaries. One of the watersheds in Lampung Province is the Betung Watershed. Increased population has led to changes in land cover, which in turn has decreased the hydrological functions of the Betung Watershed. Therefore, soil and water conservation efforts are needed. One approach to this is to analyze hydrological characteristics using SWAT modeling. This study aims to understand and analyze the hydrological characteristics of the Betung Watershed, including surface runoff, subsurface flow, base flow, Flow Regime Coefficient (KRA), and Annual Flow Coefficient (KAT). The results of the study showed that the Betung Watershed had rainfall of 2055 mm/year with surface runoff is 164.41 mm, subsurface runoff is 534.42 mm, and base flow is 240.04 mm. The Flow Regime Coefficient (KRA) is 178.05, categorized as very high, while the Annual Flow Coefficient (KAT) is 0.34, categorized as moderate. Land cover engineering scenarios, such as changing forest cover to 54.55%, affect the hydrological characteristics of the Betung Watershed. Surface runoff decreases by 13.87% to 144.39 mm, subsurface flow increases by 5.71% to 566.76 mm, and base flow increases by 12.77% to 275 mm. Additionally, KRA improves to 78.20, and KAT increases to 0.35. The application of the SWAT model can provide in-depth information for better watershed management policies.

Keywords : Betung Watershed, Watershed Hydrological Characteristics, Surface Runoff, Subsurface Runoff, Base Flow, and SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)

Judul Skripsi : **PENGAPLIKASIAN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) DALAM MENGANALISIS KARAKTERISTIK HIDROLOGI DAS BETUNG MENGGUNAKAN PEMODELAN SWAT (SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL)**

Nama Mahasiswa : **Faeryan Ade Priambudy**

NPM : **2014181007**

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

I. 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. H. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP. 196411781989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 05 September 2024

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **Pengaplikasian *Geographic Information System* (GIS) dalam Menganalisis Karakteristik Hidrologi DAS Betung Menggunakan Pemodelan SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)** merupakan hasil karya saya sendiri bukan hasil karya orang lain.

Penelitian ini merupakan penelitian mandiri oleh mahasiswa Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang sumber dananya bersifat pribadi. Dosen yang terlibat adalah Dr. Ir. Afandi, M.P.

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, 5 September 2024
Penulis,



Fazryan Ade Priambudy
NPM 2014181007

RIWAYAT HIDUP



Fazryan Ade Priambudy, anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Suharjo dan Ibu Yuniarsih, lahir pada tanggal 24 Juli 2002 di Purworejo, Provinsi Lampung. Memulai pendidikan di TK Pertiwi Kabupaten Lampung Tengah pada tahun 2006-2007, kemudian melanjutkan di Sekolah Dasar SD Negeri 1 Purworejo pada tahun 2007-2013. Pendidikan menengah pertama ditempuh di SMP Negeri 2 Kota Gajah, dilanjutkan dengan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Kota Gajah pada tahun 2016-2019.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada tahun 2020 melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Pada bulan Januari hingga Februari 2023, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata di Desa Bandar Kejadian, Kecamatan Wonosobo, Kabupaten Tanggamus. 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 Sekretaris Bidang Penelitian dan Pengembangan Gamatala periode tahun 2023. Penulis memiliki pengalaman menjadi asisten praktikum mata kuliah, yaitu Genesis dan Klasifikasi Tanah, Dasar-Dasar Ilmu Tanah, dan Biologi Dasar. Selain itu, penulis juga pernah menjadi pemateri pada kegiatan internal organisasi.

MOTTO

*“Allah Tidak Membebani Seseorang Melainkan Sesuai Dengan
Kesanggupannya”
(Al-Baqarah : 286)*

*“Barang Siapa Keluar Untuk Mencari Sebuah Ilmu, Maka Ia Akan
Berada Di Jalan Allah Hingga Ia Kembali”
(HR Tirmidzi)*

*“Ketekunan Membawa Hasil Yang Jauh Lebih Baik Daripada Bakat
Semata”
(Steve Jobs)*

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 saya 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 *Alhamdulillahirobbilalamin*, penulis memanjatkan puji dan syukur kehadiran Allah SWT. Atas rahmat, nikmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaplikasian *Geographic Information System (GIS)* dalam Menganalisis Karakteristik Hidrologi DAS Betung Menggunakan Pemodelan SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)” sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana. Penulisan skripsi ini tidak akan terlaksana dengan baik tanpa bantuan dan arahan dari para dosen pembimbing, keluarga dan kerabat.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih setulus-tulusnya kepada pihak-pihak terkait 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 penulis 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 praktik umum yang telah

memberikan banyak bantuan, arahan, dan saran dari praktik umum, penelitian sampai penulisan skripsi.

7. Kedua orang tua penulis, Bapak Suharjo dan Ibu Yuniarsih yang senantiasa memberikan kasih sayang dan doa yang tiada henti serta telah mendukung penuh setiap yang penulis lakukan. Semoga kerja keras kalian dalam membesarkan, merawat, dan membimbing penulis selama hidupnya dibalas oleh Allah SWT berupa surga terindahya. Tanpa doa kalian penulis tidak akan sampai pada titik ini.
8. Kakak kandung penulis, Zulva Nanda Yunnahar yang selalu mendukung dan memberikan semangat positif dalam menyelesaikan pendidikan.
9. Adik kandung penulis, Fatih Alvaro Azzamy yang selalu bertanya kapan wisuda dan sekaligus menjadi motivasi penulis untuk menyelesaikan pendidikan.
10. Hevilia Jelita Putri seorang wanita yang selalu memberikan semangat di setiap kesusahan yang penulis alami dan senantiasa menemani penulis dalam menjalani pendidikan.
11. Teman-teman yang telah bersama sama selama kurang lebih 4 tahun ini dan bahu-membahu saling membantu dan memberi dukungan yang luar biasa.
12. Semua pihak yang terlibat dalam penulisan dan penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat berguna untuk penelitian selanjutnya.

Bandar Lampung, 5 September 2024
Penulis



Fazryan Ade Priambudy
NPM 2014181007

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Kerangka Pemikiran	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS).....	6
2.2 Karakteristik Hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS)	7
2.2.1 Aliran Permukaan (<i>Surface Runoff</i>)	8
2.2.2 Aliran Bawah Permukaan (<i>Subsurface Runoff</i>).....	8
2.2.3 Aliran Dasar (<i>Baseflow</i>)	9
2.2.4 Koefisien Rezim Aliran (KRA)	9
2.2.5 Koefisien Aliran Tahunan (KAT).....	10
2.3 Sistem Hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS)	11
2.4 <i>Geographic Information System</i> (GIS).....	12
2.5 Model <i>Soil and Water Assessment Tool</i> (SWAT).....	13
2.5.1 Karakteristik DAS	15
2.5.2 Tutupan dan Penggunaan Lahan.....	15
2.5.3 Tanah	16
2.5.4 Iklim.....	16

III. METODOLOGI PENELITIAN.....	18
3.1 Waktu dan Tempat	18
3.2 Alat dan Bahan	18
3.3 Pengumpulan Data	19
3.3.1 Data Primer	19
3.3.2 Data Sekunder	19
3.4 Pelaksanaan Penelitian	20
3.4.1 Parameter Input Model SWAT.....	20
3.4.1.1 Karakteristik Tutupan Lahan.....	20
3.4.1.2 Karakteristik Tanah.....	21
3.4.1.3 Karakteristik lereng.....	21
3.4.1.4 Karakteristik Iklim	21
3.4.2 Menjalankan Model SWAT	22
3.4.2.1 Deliniasi DAS	22
3.4.2.2 Pendefinisian Data Iklim dan Data Input Tabel	22
3.4.2.3 Perbaikan Data Masukan Model	23
3.4.2.4 Setup dan Run SWAT.....	23
3.4.2.5 Output Model	24
3.4.3 Akurasi Model (Kalibrasi dan Validasi)	24
3.4.4 Skenario Perubahan Tutupan Lahan	25
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Kondisi Umum DAS Betung	26
4.2 Parameter Input SWAT	29
4.2.1 Tutupan Lahan.....	29
4.2.2 Karakteristik Tanah	31
4.2.3 Topografi	35
4.2.4 Iklim	37
4.3 Akurasi Model (Kalibrasi dan Validasi)	40
4.4 Analisis Model SWAT DAS Betung	44
4.4.1 Deliniasi DAS dan Sub DAS	44
4.4.2 Analisis Eksisting Hidrologi DAS Betung.....	46
4.4.2.1 Koefisien Rezim Aliran (KRA) DAS Betung.....	47

4.4.2.2 Koefisien Aliran Tahunan (KAT).....	49
4.4.2.3 Aliran Dasar (Baseflow)	51
4.4.3 Analisis Hidrologi Skenario Perubahan Tutupan Lahan.....	52
V. SIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Simpulan.....	59
5.1 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi Koefisien Rezim Aliran	10
2. Klasifikasi Koefisien Aliran Tahunan (KAT).....	11
3. Data Sekunder Parameter Input SWAT	19
4. Data iklim yang digunakan Pemodelan	22
5. Nilai NSE Kalibrasi	25
6. Karakteristik Tutupan Lahan DAS Betung	29
7. Karakteristik Tanah DAS Betung Lapisan.....	33
8. Karakteristik Tanah DAS Betung Lapisan 2.....	33
9. Karakteristik Tanah DAS Betung Lapisan 3.....	34
10. Kelas Lereng DAS Betung.....	35
11. Pembangkit Iklim Stasiun BMKG Periode 2015-2022	39
12. Parameter Sensitif pada Kalibrasi Kondisi Hidrologi DAS Betung	42
13. Luas DAS dan Sub DAS Betung berdasarkan Deliniasi SWAT	44
14. Karakteristik Eksisting Hidrologi DAS Betung Tahun 2022.....	47
15. Koefisien Rezim Aliran (KRA) DAS Betung Tahun 2022	47
16. Koefisien Aliran Tahunan (KAT) DAS Betung Tahun 2022	50
17. Aliran Dasar (Baseflow) pada DAS Betung Tahun 2022	51
18. Perubahan Luas Tutupan Lahan setelah Skenario Tutupan Hutan.....	55
19. Neraca Air dengan Skenario Tutupan Lahan pada DAS Betung	56
20. Perubahan Karakteristik Hidrologi Kondisi Skenario	57
21. Kondisi CN Setiap Bulan pada DAS Betung.....	69
22. Nilai CN Tutupan Lahan Setiap Kondisi pada DAS Betung	69
23. Nilai CN Kondisi I pada Setiap Sub DAS	70
24. Nilai CN Kondisi II pada Setiap Sub DAS.....	71
25. Nilai CN Kondisi III pada Setiap Sub DAS.....	72

26. Uji akurasi berdasarkan debit aktual harian dan debit simulasi harian menggunakan metode Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) dan koefisien determinasi (R^2) 74

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Alur Kerangka Pemikiran.....	5
2. Representasi Siklus Hidrologi	14
3. Peta Lokasi Penelitian	18
4. Peta Situasi DAS Betung.....	27
5. Peta Kontur DAS Betung	28
6. Peta Eksisting Tutupan Lahan DAS Betung Tahun 2020.....	30
7. Satuan Peta Tanah (SPT) DAS Betung.....	32
8. Peta Kelas Lereng DAS Betung	36
9. Peta Stasiun Curah Hujan dan Iklim DAS Betung	38
10. Akurasi Model antara Debit Aktual dan Debit Simulasi Nilai NSE	40
11. Hubungan Debit Aktual dan Debit Simulasi	41
12. Akurasi Model antara Debit Aktual dan Debit Simulasi Nilai NSE setelah Dikalibrasi	43
13. Hubungan Debit Aktual dan Debit Simulasi setelah Dikalibrasi	43
14. Peta DAS dan Sub DAS Betung.....	45
15. Karakteristik Eksisting Hidrologi DAS Betung	46
16. Hidrograf Respon Debit terhadap Curah Hujan DAS Betung.....	49
17. Peta Fungsi Kawasan Hutan	53
18. Peta Skenario Perubahan Tutupan Lahan DAS Betung	54
19. Debit aliran DAS Betung Kondisi Eksisting dan Kondisi Hasil	55
20. Karakteristik Hidrologi setelah Skenario Tutupan Lahan	56
21. Tutupan Lahan Pemukiman.....	67
22. Tutupan Lahan Pertanian Lahan Kering.....	67
23. Tutupan Lahan Pertanian Lahan Kering Campuran	68
24. Tutupan Lahan Hutan	68

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2012 tentang pengelolaan Daerah Aliran Sungai, DAS adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya. Salah satu DAS yang terdapat di Provinsi Lampung adalah DAS Betung. DAS ini terletak pada koordinat $105^{\circ}09'$ - $105^{\circ}14'$ BT dan $05^{\circ}24'$ $05^{\circ}29'$ LS. Secara administrasi DAS ini terbagi menjadi 2 wilayah, yaitu Kota Bandar Lampung dan Kabupaten Pesawaran (Mubarok dkk., 2015). Meningkatnya populasi penduduk di DAS Betung menyebabkan terjadinya perubahan tutupan lahan yang bervegetasi menjadi pemukiman (Badan Pusat Statistik, 2021).

Perubahan tutupan lahan yang sebelumnya memiliki vegetasi menjadi lahan pemukiman dapat menyebabkan penurunan fungsi hidrologi pada suatu DAS, terutama DAS Betung. Hal ini sejalan dengan penelitian Yusuf dkk., (2021) perubahan fungsi kawasan hutan menjadi lahan pemukiman mengakibatkan penurunan fungsi hidrologi, terutama aliran permukaan (*surface runoff*), aliran bawah permukaan (*subsurface runoff*), dan *baseflow*.

Peningkatan populasi penduduk menyebabkan meningkatnya tekanan terhadap hutan dan lahan yang mengakibatkan terjadinya perubahan penggunaan lahan. Sehingga, diperlukan penanganan yang lebih efektif untuk menghadapi permasalahan ini. Banjir dan kekeringan juga semakin meluas akibat kondisi tersebut. Selain itu, penurunan luas tutupan lahan juga memiliki implikasi terhadap perubahan tata guna air dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) yang mengharuskan dilakukannya kegiatan konservasi air dan tanah.

Untuk mengatasi permasalahan yang ada di DAS Betung, penting untuk melakukan kajian mendalam mengenai kondisi hidrologi saat ini dan pengelolaan yang telah direncanakan atau dilakukan di DAS tersebut. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menganalisis karakteristik hidrologi adalah menggunakan pemodelan *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). SWAT adalah sebuah pemodelan yang dikembangkan dengan tujuan untuk memprediksi dampak praktik-praktik manajemen lahan terhadap aliran air, erosi, dan sedimen di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) yang kompleks. Model ini mempertimbangkan input hujan, karakteristik lereng, tutupan lahan, dan jenis tanah. Dengan menggunakan pemodelan SWAT, dapat dilakukan evaluasi dan pemodelan terhadap pengaruh interaksi antara praktik manajemen lahan dan kualitas air di DAS Betung (Arnold dkk., 2012).

Pendekatan yang digunakan pada SWAT menunjukkan bahwa model hidrologi dapat digunakan untuk mempelajari bagaimana perubahan penggunaan lahan mempengaruhi karakteristik hidrologi. Hasil dari penelitian ini dapat memberikan gambaran terhadap kondisi DAS Betung saat ini, sehingga hal tersebut dapat bermanfaat dalam membuat perencanaan pengelolaan DAS terutama dalam pengelolaan tata air yang nantinya berguna bagi penduduk di sekitar DAS tersebut (Febrianti dkk., 2018).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kondisi aliran permukaan (*surface runoff*), aliran bawah permukaan (*subsurface runoff*), dan aliran dasar (*baseflow*) sebelum dan sesudah rekayasa tutupan lahan (skenario) pada DAS Betung?
2. Bagaimana kondisi Koefisien Regim Aliran (KRA) sebelum dan sesudah rekayasa tutupan lahan (skenario) pada DAS Betung?
3. Bagaimana kondisi Koefisien Aliran Tahunan (KAT) sebelum dan sesudah rekayasa tutupan lahan (skenario) pada DAS Betung?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menghitung dan menganalisis nilai aliran permukaan (*surface runoff*), aliran bawah permukaan (*subsurface runoff*), dan aliran dasar (*baseflow*) DAS Betung sebelum dan sesudah dilakukan rekayasa tutupan lahan (skenario).
2. Untuk menghitung dan menganalisis nilai Koefisien Regim Aliran (KRA) DAS Betung sebelum dan sesudah rekayasa tutupan lahan (skenario).
3. Untuk menghitung dan menganalisis nilai Koefisien Aliran Tahunan (KAT) DAS Betung sebelum dan sesudah rekayasa tutupan lahan (skenario).

1.4 Kerangka Pemikiran

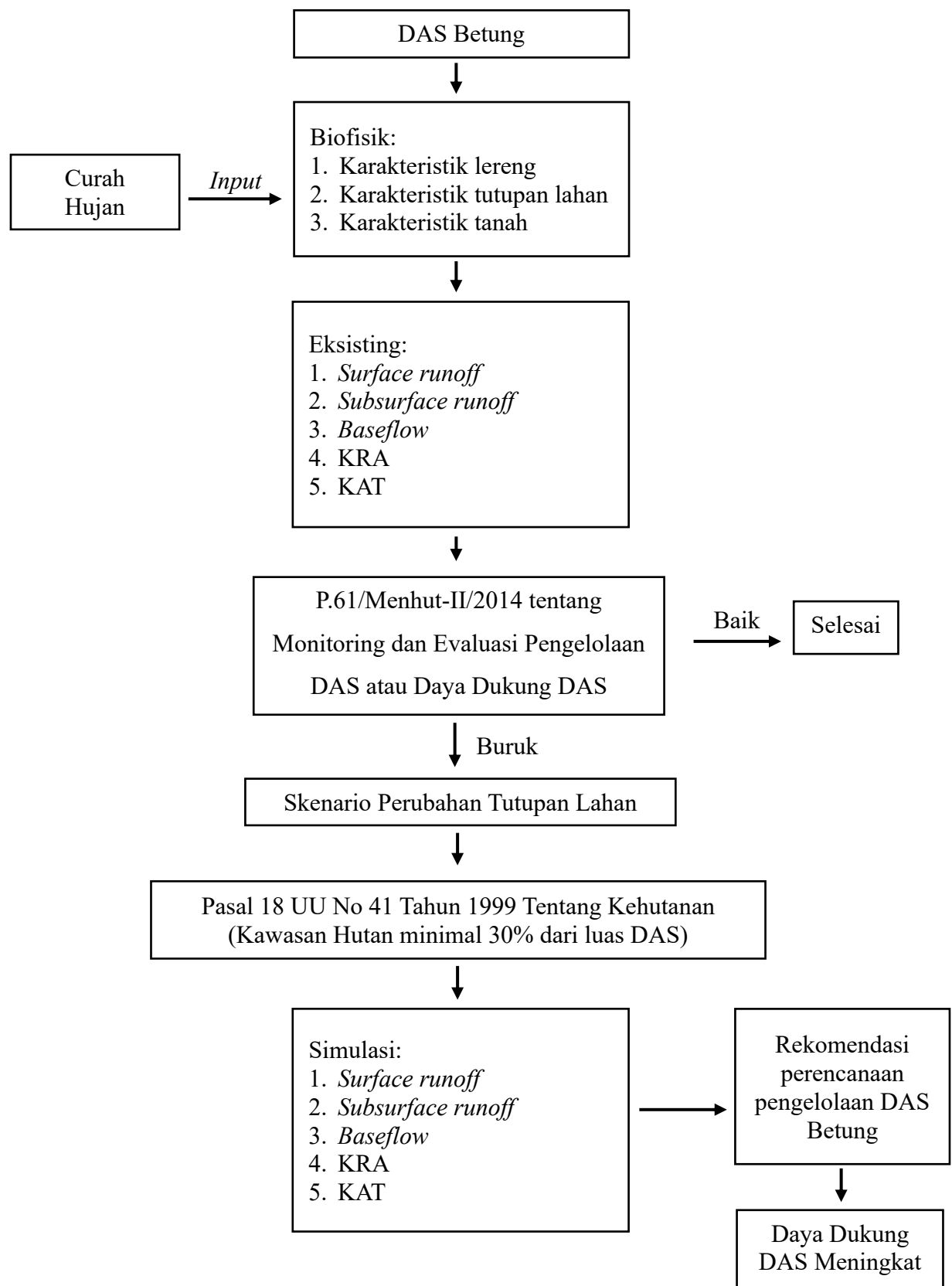
Seiring berjalannya waktu karakteristik suatu DAS pasti akan mengalami perubahan, yang mengakibatkan fungsi dari DAS tersebut menurun. Menurut Utami dkk., (2020) meningkatnya populasi penduduk menyebabkan kondisi tutupan lahan mengalami perubahan, sehingga hal tersebut dapat mempengaruhi kondisi hidrologi. Arsyad (2010) menjelaskan bahwa terdapat 2 faktor yang mempengaruhi karakteristik DAS, yaitu karakteristik iklim (radiasi matahari, temperatur udara maksimum dan minimum, kelembaban udara, dan kecepatan angin) dan biofisik (lereng, tutupan lahan, dan tanah).

Kelerengan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya erosi. Semakin curam lereng, maka aliran permukaan makin meningkat (Banuwa, 2013). Akibatnya, energi aliran angkut permukaan dan erosi semakin besar sehingga terjadi sedimentasi yang cukup tinggi (Marhendi dan Iskahar, 2017). Dalam hal ini, perubahan tutupan lahan yang disebabkan karena meningkatnya populasi penduduk turut mengambil peran dalam terjadinya erosi di suatu DAS. Transisi tutupan lahan dari vegetasi rapat menjadi pemukiman mengakibatkan air hujan yang jatuh tidak dapat diintersepsi oleh tajuk vegetasi, sehingga meningkatkan energi kinetik dari tumbukan air hujan. Sedangkan, tutupan lahan dengan vegetasi rapat memiliki strata tajuk yang rapat, sehingga dapat mengintersepsi air hujan dan mengurangi energi kinetik dari air hujan yang jatuh (Tribiyono dkk., 2018). Hal tersebut membuat air hujan tertahan sementara pada tajuk, batang, ranting

bahkan serasah di bawahnya. Air hujan yang telah sampai permukaan tanah selanjutnya akan terinfiltrasi melalui pori-pori tanah atau bahkan dapat menjadi aliran (*runoff*). Faktor yang dapat mempengaruhi infiltrasi, yaitu porositas tanah. Tanah yang memiliki porositas rendah, akan memiliki kapasitas infiltrasi rendah (Yunagardasari dkk., 2017).

Untuk mengatasi permasalahan yang ada di DAS Betung perlu dilakukan kegiatan-kegiatan yang bersifat konservasi. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah melakukan kajian analisis karakteristik hidrologi DAS dengan pemodelan *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) sesuai dengan Peraturan Jenderal Bina Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial Nomor: P.2/V-SET/2015 tentang Petunjuk Teknis Pemanfaatan Model Hidrologi dalam Pengelolaan DAS.

Model SWAT dapat memberikan simulasi kondisi eksisting hidrologi yang kompleks antara lain, yaitu limpasan permukaan (*surface runoff*), aliran bawah permukaan (*subsurface runoff*), dan aliran dasar (*baseflow*). Hasil simulasi SWAT di suatu DAS yang menunjukkan kondisi buruk dapat diperbaiki dengan membuat skenario perubahan tutupan lahan. Skenario perubahan tutupan lahan pada penelitian ini akan diterapkan pada lahan yang kurang produktif atau bahkan tidak produktif dengan mengubahnya menjadi kawasan hutan yang memiliki luas minimal sebesar 30% dari luas DAS. Skenario ini dilakukan berdasarkan Pasal 18 Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Kehutanan yang menyatakan bahwa luas tutupan hutan yang harus dipertahankan minimal sebesar 30% dari luas DAS.



Gambar 1. Alur Kerangka Pemikiran

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan sistem alam yang vital, karena berfungsi sebagai penopang bagi keberlangsungan kehidupan di bumi. DAS memiliki peran dalam berlangsungnya siklus hidrologi, menyuplai pasokan air ke sektor pertanian, dan mendukung ekosistem keanekaragaman hayati. Berdasarkan peranannya dalam kehidupan, kualitas DAS wajib dipertahankan agar tidak mengalami kerusakan dan stabilitas ekosistem air dapat terjaga (Wang dkk., 2023).

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu kompleksitas ekosistem yang di dalamnya terdapat unsur-unsur sumber daya alam, tanah, air, vegetasi, dan sumber daya manusia yang berperan sebagai pelaku pemanfaat sumber daya alam tersebut. Fungsi hidrologi DAS sangat dipengaruhi oleh aktivitas-aktivitas yang terdapat di dalamnya. Salah satu faktor yang mempengaruhi fungsi hidrologi DAS adalah meningkatnya populasi penduduk bersamaan dengan pemanfaatan sumber daya alam yang tidak optimal. Hal ini mengakibatkan potensi terjadinya erosi, banjir, hingga tanah longsor sehingga berdampak pada kualitas hidrologi pada DAS tersebut (Upadani, 2017).

Definisi Daerah Aliran Sungai (DAS) menurut Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2012 tentang pengelolaan Daerah Aliran Sungai adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya. DAS memiliki fungsi untuk menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami. Pengelolaan DAS merupakan upaya manusia dalam mengatur hubungan timbal balik antara

sumberdaya alam dengan manusia di dalam DAS dan segala aktivitasnya, agar terwujud kelestarian dan keserasian ekosistem serta meningkatnya kemanfaatan sumberdaya alam bagi manusia secara berkelanjutan.

Menurut Asdak (2010) secara biogeofisik DAS dibagi menjadi tiga bagian, yaitu hulu, tengah, dan hilir. Ciri-ciri daerah hulu, yaitu memiliki kerapatan drainase lebih tinggi, merupakan areal konservasi, memiliki kecuraman lereng lebih dari 15%, dan bukan merupakan daerah banjir. Ciri-ciri daerah hilir, yaitu kerapatan drainase lebih kecil, memiliki kecuraman lereng kurang dari (8%), dan terdapat daerah yang tergenang (banjir). Sementara itu, ciri-ciri daerah tengah, yaitu memiliki karakteristik biogeofisik dari hasil transisi daerah hulu dan hilir.

Karakteristik hidrologi dari suatu DAS terdiri dari karakteristik yang dipengaruhi oleh faktor alami (morfometri) dan karakteristik yang dapat diubah oleh manusia (*manageable*). Kombinasi antar dua karakteristik tersebut menentukan seberapa responsif DAS terhadap curah hujan yang jatuh. Karakteristik hidrologi tersebut meliputi tutupan lahan, kecuraman lereng, dan tanah yang selanjutnya akan menentukan persentase curah hujan yang jatuh menjadi aliran permukaan (*surface runoff*), aliran bawah permukaan (*subsurface runoff*), aliran dasar (*baseflow*), Koefisien Rezim Aliran (KRA), dan Koefisien Aliran Tahunan (KAT), (Supangat, 2012).

2.2 Karakteristik Hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS)

Karakteristik hidrologi DAS meliputi aliran permukaan (*surface runoff*), aliran bawah permukaan (*subsurface runoff*), aliran dasar (*baseflow*), Koefisien Rezim Aliran (KRA), Koefisien Aliran Tahunan (KAT), Erosi dan Sedimentasi.

2.2.1 Aliran Permukaan (*Surface Runoff*)

Aliran permukaan (*surface runoff*) adalah kondisi di mana presipitasi (air hujan) yang jatuh mengalir di permukaan tanah dan langsung menuju ke sungai (Muharomah, 2014). Aliran permukaan dapat terjadi karena kapasitas infiltrasi tanah tidak mampu lagi menampung intensitas curah hujan yang jatuh di permukaan tanah. Sehingga hal tersebut mengakibatkan terjadinya banjir dan genangan di permukaan tanah (Yasa dkk., 2020). Menurut Yuwono dkk., (2018) aliran permukaan dapat mengakibatkan erosi dan sedimentasi. Erosi dapat mempengaruhi produktivitas daerah hilir dengan sedimen yang terbawa ketika terjadi erosi.

Menurut Asdak (2014) aliran permukaan adalah curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah dan langsung menuju ke sungai, danau, dan lautan yang disebabkan karena air tidak dapat lagi diserap oleh tanah. Kondisi tidak dapat terserapnya air hujan oleh tanah disebabkan karena kondisi tanah yang telah jenuh dan kapasitas infiltrasi yang sudah tidak memadai. Faktor utama penyebab terjadinya aliran permukaan adalah tutupan lahan. Pada tutupan lahan dengan vegetasi rapat aliran permukaan relatif rendah, sedangkan pada tutupan lahan vegetasi jarang aliran permukaan relatif tinggi (Gitika dan Ranjan, 2014).

2.2.2 Aliran Bawah Permukaan (*Subsurface Runoff*)

Aliran bawah permukaan (*subsurface runoff*) merupakan bagian dari aliran permukaan yang berhasil meresap ke dalam tanah dan bergerak secara lateral (horizontal) melalui horizon-horizon bagian atas. Dengan kata lain, *subsurface runoff* adalah bagian dari curah hujan yang terinfiltrasi ke dalam tanah, kemudian mengalir dan bergabung dengan aliran debit (Apriadi, 2022).

Berdasarkan Perdirjen BPDASPS No. P2/V-SET/2015 Tentang Petunjuk Teknis Pemanfaatan Model Hidrologi dalam Pengelolaan DAS, aliran bawah permukaan yang berada di daerah berhutan merupakan penyumbang debit yang cukup besar. Aliran permukaan pada profil tanah (0-2 m) dihitung secara bersamaan dengan

redistribusi. Model simpanan kinematik digunakan untuk memprediksi aliran bawah permukaan pada masing-masing lapisan tanah dan memperhitungkan variasi konduktivitas, lereng dan kadar air kelembaban tanah.

2.2.3 Aliran Dasar (*Baseflow*)

Aliran dasar (*baseflow*) merupakan volume aliran sungai yang berasal dari air bawah tanah atau sumber lain yang tertunda. Aliran dasar memiliki sifat yang cenderung stabil dan lambat, serta sangat berhubungan dengan karakteristik DAS (Brognia dkk., 2017). Menurut Zhang dkk., (2019) aliran dasar merupakan salah satu karakteristik hidrologi paling penting, karena pada saat terjadinya musim kemarau aliran dasar berperan sebagai penyuplai air di saat tidak terjadi hujan.

Menurut Arsyad (2010) air bawah tanah (*groundwater*) merupakan aliran air yang masuk dan terpekolasi jauh ke dalam tanah. Air bawah tanah mengalir secara lambat dan perlahan-lahan masuk ke dalam sungai dan danau. Ciri-ciri air bawah tanah, yaitu terlihat jernih karena tidak mengandung bahan tersuspensi atau kapur. 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), (Neitsch dkk., 2011).

2.2.4 Koefisien Rezim Aliran (KRA)

Berdasarkan Peraturan Menteri Kehutanan No. P61/Menhut-II/2014 Tentang Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan DAS, mendefinisikan Koefisien Rezim Aliran (KRA) adalah perbandingan antara debit maksimum (Q_{maks}) dengan debit minimum (Q_{min}) dalam suatu DAS. Nilai KRA adalah perbandingan Q_{maks} dengan Q_{min} , yang merupakan debit (Q) absolut dari hasil pengamatan SPAS atau perhitungan rumus.

Berikut adalah perhitungan KRA

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

Keterangan:

KRA : Koefisien Rezim 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

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 ini menunjukkan bahwa daya resap lahan di DAS kurang mampu menahan dan menyimpan air hujan yang jatuh dan air limpasannya banyak yang terus masuk ke sungai dan terbuang ke laut sehingga ketersediaan air di DAS saat musim kemarau sedikit. Klasifikasi Koefisien Rezim Aliran (KRA) disajikan pada tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Klasifikasi Koefisien Rezim 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 No. P61/Menhut-II/2014

2.2.5 Koefisien Aliran Tahunan (KAT)

Berdasarkan Peraturan Menteri Kehutanan No. 61/Menhut-II/2014 Tentang Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan DAS mendefinisikan KAT atau nilai Koefisien Aliran Tahunan adalah perbandingan antara tebal aliran tahunan (Q, mm) dengan tebal hujan tahunan (P, mm) di DAS atau dapat dikatakan berapa persen curah hujan yang menjadi aliran (*run off*) di DAS tersebut. Tebal aliran (Q) diperoleh dari volume debit (Q, dalam satuan m^3) dari hasil pengamatan SPAS di DAS selama satu tahun atau perhitungan rumus dibagi dengan luas DAS (ha atau

m^3) yang kemudian dikonversi ke satuan mm. Sedangkan, tebal hujan tahunan (P) diperoleh dari hasil pencatatan *Automatic Rainfall Recorder* (ARR) dan atau Ombrometer. Untuk mengetahui nilai Koefisien Aliran Tahunan (KAT) dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

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

Keterangan:

KAT : Koefisien Aliran Tahunan
 Q tahunan : Debit tahunan (m^3 /tahun)
 P tahunan : Tebal curah hujan tahunan (m/tahun)

Setelah mendapatkan nilai KAT, selanjutnya dapat dilakukan klasifikasi Koefisien Aliran Tahunan (KAT) sesuai pada tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Klasifikasi Koefisien Aliran Tahunan (KAT)

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 No. P61/Menhut-II/2014

2.3 Sistem Hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS)

Unsur utama yang berkaitan erat dengan sistem hidrologi suatu DAS adalah karakteristik biofisik, yang meliputi jenis tanah, penggunaan lahan, kemiringan, dan panjang lereng. Karakteristik tersebut menentukan seberapa berpengaruhnya curah hujan sebagai bentuk respon DAS terhadap curah hujan yang terlibat dalam proses hidrologi seperti aliran permukaan, evapotranspirasi, infiltrasi, perkolasi, kandungan air tanah, dan aliran sungai (Asdak, 2010 dalam Apriadi, 2022).

Konsep siklus hidrologi (*hydrology cycle*) dapat dijadikan sebagai dasar logika untuk memahami siklus hidrologi DAS dalam skala luas. Sebagai sistem alam yang vital, DAS menjadi tempat berlangsungnya proses fisik hidrologis dan

berperan sebagai sarana untuk mempelajari respon hidrologi yang terjadi. Adanya pengetahuan terkait proses-proses hidrologi di dalam suatu DAS dapat bermanfaat bagi pengembangan sumber daya air dalam skala DAS (Mubarak, 2014).

Menurut Asdak (2010) sistem hidrologi dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti penggunaan lahan, kecuraman lereng, panjang lereng, dan jenis tanah. Namun, faktor yang dapat diubah oleh manusia (*manageable*) seperti penggunaan lahan, memungkinkan manusia untuk memperbaiki sistem hidrologi melalui rekayasa penggunaan lahan. Perubahan penggunaan lahan dari pemukiman menjadi vegetasi rapat, serta pengaturan kemiringan dan panjang lereng menjadi fokus utama dalam aktivitas perencanaan pengelolaan DAS.

2.4 *Geographic Information System (GIS)*

Semakin berkembangnya teknologi membuat kegiatan-kegiatan yang dilakukan oleh manusia lebih efisien waktu dan tenaga. Salah satunya adalah perkembangan sistem informasi yang sangat populer, yaitu *Geographic Information System (GIS)*. Sistem informasi ini telah dimanfaatkan oleh berbagai instansi pemerintah dan swasta dalam melakukan perencanaan, pemantauan, dan evaluasi hasil-hasil pembangunan (Kharistiani dkk., 2013).

Menurut Wibowo dkk., (2015) *Geographic Information System (GIS)* adalah suatu sistem informasi berbasis komputer yang dapat memberikan informasi spasial berdasarkan kondisi geografis suatu wilayah. Adanya GIS memungkinkan manusia untuk menyimpan, mengelola, dan menganalisis data spasial dalam waktu singkat. Selain itu, dengan diterapkannya GIS ini memudahkan manusia dalam melakukan survei dan pemetaan lahan, salah satunya adalah pertambangan.

Menurut Gozal dkk., (2020) *Geographic Information System (GIS)* adalah sistem informasi berbasis komputer yang digunakan untuk menyimpan dan memanipulasi informasi spasial. GIS juga dapat digunakan dalam melakukan

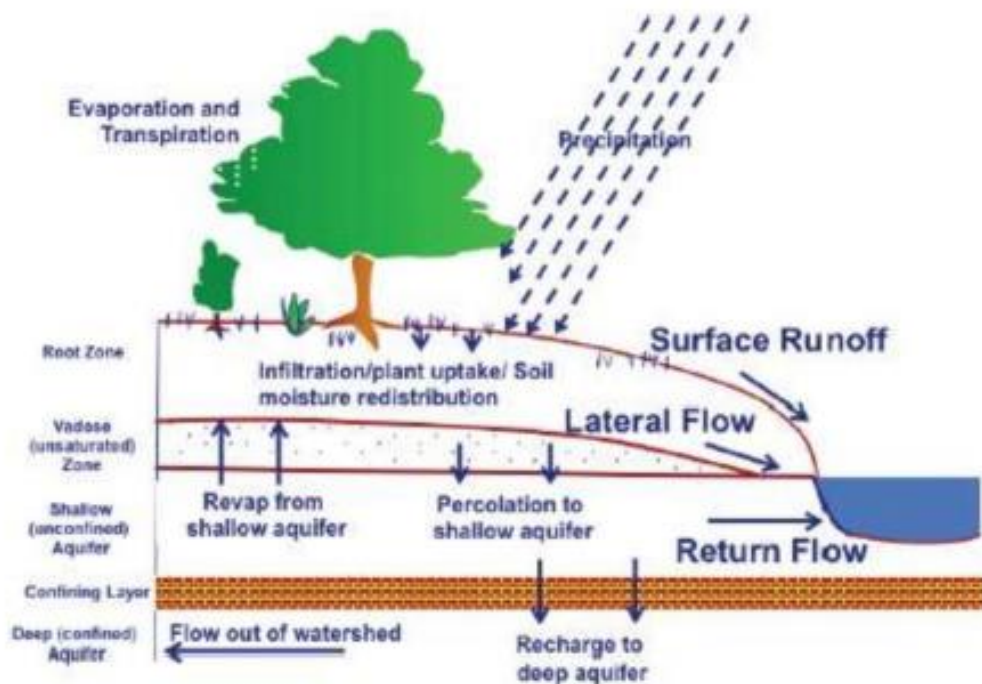
penggabungan data, mengatur, dan analisis data yang menghasilkan output untuk dijadikan sebagai acuan dalam pengambilan keputusan.

Aplikasi GIS dalam menganalisis karakteristik hidrologi dapat dilakukan dengan menggunakan *software* ArcMap yang terdapat di dalam *software* ArcGIS. Fungsi ArcMap dalam analisis karakteristik hidrologi, yaitu menghitung luas DAS melalui *attribute table*, memotong (*clip*) peta jenis tanah sesuai dengan deliniasi DAS, mencari titik koordinat SPAS sesuai lokasi DAS, dan *layouting*. Sedangkan, untuk analisis karakteristik hidrologi lebih lanjut menggunakan ekstensi tambahan, yaitu ArcSWAT.

2.5 Model Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

Soil and Water Assessment Tool (SWAT) adalah perkembangan dari metode USLE dalam analisis hidrologi suatu DAS. SWAT dapat digunakan untuk memprediksi pengaruh penggunaan lahan terhadap debit, erosi, sedimen, residu pestisida yang masuk ke sungai atau badan air. Pengaplikasian model SWAT memungkinkan manusia untuk membuat simulasi dengan skala terkecil (*Hydrological Response Unit*) dalam rentang waktu yang panjang dalam waktu singkat (Neitsch dkk., 2011). Model SWAT merupakan ekstensi tambahan berbasis ArcGIS, sehingga untuk menjalankannya diperlukan *software* ArcGIS. Pemodelan ini memiliki beberapa fitur yang sangat bermanfaat, seperti deliniasi DAS otomatis, *report analysis* (berisi informasi terkait karakteristik DAS), SWAT Editor, SWATCheck, dan lain-lain.

Pembagian DAS mampu membuat simulasi model yang bervariasi dalam menggambarkan perbedaan evapotranspirasi untuk jenis tanaman dan tanah. Aliran permukaan (*surface runoff*) dan aliran permukaan total (*total runoff*) disimulasikan secara terpisah untuk masing-masing HRU. Sehingga, hal tersebut dapat meningkatkan keakuratan dan memberikan gambaran fisik yang lebih baik untuk neraca air (Mubarok, 2014).



Gambar 2. Representasi Siklus Hidrologi (sumber: Mubarak, 2014)

Berdasarkan Perdirjen BPDASPS No. P2/V-SET/2015 Tentang Petunjuk Teknis Pemanfaatan Model Hidrologi dalam Pengelolaan DAS, proses running SWAT terdiri dari 3 tahapan utama sebagai berikut.

1. Membuat batas DAS dan Sub DAS
2. Pembentukan HRU (*Hydrology Response Unit*)
3. Setup dan Run SWAT

Model SWAT menyediakan fitur SWAT Editor yang berfungsi untuk mengedit beberapa data input agar sesuai dengan lokasi studi penelitian. Fitur tersebut dapat membantu pengguna dalam merencanakan simulasi pengelolaan daerah aliran sungai (DAS). Untuk menjalankan model SWAT diperlukan beberapa parameter yang terdiri dari karakteristik DAS (saluran sungai), iklim, tanah, kemiringan lereng (DEM), dan tutupan lahan atau penggunaan lahan. Masing-masing input peta (peta tanah, kemiringan lereng (DEM), dan peta tutupan lahan) harus memiliki data spasial yang terproyeksi dengan UTM (*Universal Transverse Mercator*).

2.5.1 Karakteristik DAS

Berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial (2013) karakteristik DAS adalah deskripsi khusus terkait DAS yang dicirikan oleh parameter morfometri, topografi, tanah, geologi, vegetasi, penggunaan lahan, hidrologi, dan manusia. Menurut Zahri dkk., (2017) karakteristik morfometri DAS terdiri dari luas sungai, lebar sungai, panjang sungai, kedalaman sungai, kemiringan lereng, dan panjang lereng. Untuk mendapatkan data-data tersebut diperlukan olah data Digital Elevation Model (DEM). Sumber peta DEM yang dapat digunakan, yaitu SRTM (Shuttle Radar Thematic Mapper), peta ASTER, ataupun dari peta kontur. Walaupun data-data tersebut dapat diperoleh melalui olah peta DEM, namun perlu dilakukan *groundcheck* seperti lebar dan kedalaman sungai. Hal ini sangat diperlukan untuk memvalidasi kesesuaian data DEM dengan data aktual di lapangan.

2.5.2 Tutupan dan Penggunaan Lahan

Tutupan lahan merujuk pada cakupan fisik dan aspek biologis dari permukaan bumi, yang dapat terjadi secara alami seperti rawa, sungai, perbukitan, atau hasil dari aktivitas manusia seperti sawah, kebun, hutan, dan bangunan (Yulianto, 2023). Sedangkan, penggunaan lahan mencakup semua intervensi manusia, baik yang bersifat permanen maupun sementara terhadap beragam sumber daya alam dan buatan yang dikenal sebagai lahan. Tujuan dari penggunaan lahan ini adalah untuk memenuhi kebutuhan manusia, baik yang bersifat material maupun spiritual, atau keduanya sekaligus (Kusumaningrat dkk., 2017).

Tutupan lahan pada suatu DAS berpengaruh terhadap nilai CN (*Curve Number*) yang secara tidak langsung juga mempengaruhi fluktuasi debit di DAS tersebut. Berdasarkan penelitian Farid dkk., (2021) peningkatan luas lahan pemukiman yang diikuti berkurangnya tutupan lahan hutan menyebabkan naiknya nilai CN. Kenaikan nilai CN yang disebabkan perubahan tutupan lahan dapat meningkatkan debit yang dapat mengakibatkan kejadian banjir. Dengan kata lain, semakin tinggi nilai CN maka semakin besar persentase presipitasi yang langsung menjadi aliran

permukaan (*surface runoff*), sehingga air langsung menuju ke sungai dan tidak dapat terinfiltrasi oleh tanah.

Menurut penelitian Yuwono dkk., (2011) perubahan tata guna lahan di DAS Betung meningkatkan koefisien limpasan tahunan. Besarnya koefisien limpasan menggambarkan kehilangan air yang tidak dapat dimanfaatkan. Hal tersebut disebabkan oleh perubahan tata guna lahan dari hutan ke penggunaan lain seperti kebun campur, semak belukar, pertanian lahan kering atau pemukiman. Perubahan tersebut mengakibatkan kapasitas infiltrasi tanah berkurang, sehingga air hujan yang menjadi limpasan jauh lebih besar daripada yang terinfiltrasi.

2.5.3 Tanah

Tanah merupakan sistem tiga dimensi yang terbentuk karena interaksi proses fisika, kimia, dan biologi yang dipengaruhi oleh iklim, vegetasi, topografi, bahan induk, dan waktu sehingga menciptakan jenis tanah dengan sifat dan ciri khusus di berbagai wilayah (Fiantis, 2017). Karakteristik tanah merupakan faktor yang mempengaruhi respon DAS terhadap curah hujan. Semakin baik kemampuan infiltrasi tanah, maka semakin baik respon DAS terhadap curah hujan tersebut.

2.5.4 Iklim

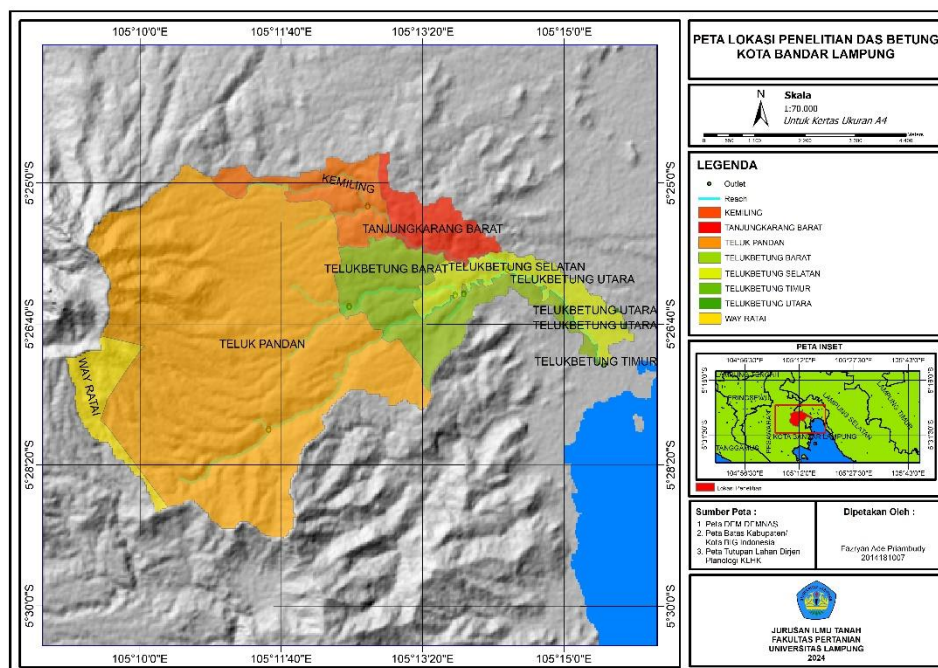
Iklim adalah hasil statistik dari berbagai kondisi atmosfer seperti suhu, tekanan, arah angin, dan kelembaban yang terjadi di suatu wilayah selama periode yang panjang, umumnya minimal 30 tahun, dan mencakup area yang luas (Winarno dkk., 2019). Menurut Sun dkk., (2016) perubahan iklim sangat mempengaruhi karakteristik hidrologi dan kualitas air suatu DAS dalam skala luas. Unsur iklim yang dapat mempengaruhi karakteristik hidrologi DAS, yaitu curah hujan, suhu maksimum, dan suhu minimum.

Data iklim yang diperlukan dalam menjalankan ArcSWAT terdiri dari data harian curah hujan (mm), suhu 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 diperlukan untuk menjalankan ArcSWAT, yaitu curah hujan, suhu maksimum dan minimum. Hal ini dikarenakan ketiga input tersebut sangat berpengaruh terhadap simulasi debit yang dihasilkan oleh ArcSWAT (Apriadi, 2022).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2023 sampai dengan Januari 2024. Lokasi penelitian ini berada di DAS Betung yang terletak di Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten Pesawaran dan Teluk Betung Barat, Kota Bandar Lampung (Gambar 3).



Gambar 3. Peta Lokasi Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah device, software ArcGIS versi 10.3, ArcSWAT versi 10.3, Microsoft Office (Excel dan Access) 2021, *Software* Avenza, *Software* Spotlens (kamera timestamp), dan alat tulis. Sedangkan, bahan

yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta jenis tanah, peta tutupan lahan, peta DEM, data iklim tahun 2015-2022, dan data debit tahun 2015-2022.

3.3 Pengumpulan Data

3.3.1 Data Primer

Data primer pada penelitian ini diperoleh dari kegiatan *groundcheck* di lapangan. Kegiatan *groundcheck* bertujuan untuk mendapatkan data aktual tutupan lahan di lapangan.

1. Kondisi Eksisting Tutupan Lahan

Untuk mendapatkan data aktual tutupan lahan pada penelitian ini perlu dilakukan analisis tutupan lahan berdasarkan peta tutupan lahan dan citra spot terbaru. Setelah mendapatkan informasi tutupan lahan, selanjutnya dilakukan *groundcheck* untuk memvalidasi tutupan lahan secara aktual. Alat yang digunakan dalam melakukan *groundcheck* tutupan lahan hutan, pertanian lahan kering campuran, pertanian lahan kering, dan pemukiman pada DAS Betung adalah Avenza, GPS, dan kamera berkoordinat.

3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan pada penelitian ini berasal dari beberapa instansi untuk melengkapi parameter input SWAT agar dapat dilakukan *running* pemodelan. Data sekunder tersebut meliputi data-data yang disajikan pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Data Sekunder Parameter Input SWAT

Data Sekunder	Sumber
Data Curah Hujan Harian Tahun 2015-2022	BBWS Mesuji Sekampung (stasiun curah hujan Sumur Putri)
Data Iklim (kelembaban udara, suhu maksimum dan minimum, radiasi matahari, kelembaban udara, dan kecepatan angin)	BMKG Branti
Peta Digital Elevation Model (DEM) Resolusi 5m x 5m	DEMNAS

Tabel 3. Lanjutan

Data Sekunder	Sumber
Peta Jenis Tanah DAS Betung	Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian (Pusat Penelitian Tanah)
Peta Tutupan Lahan DAS Betung	Direktorat Jenderal Planologi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI
Peta Batas DAS Betung	BPDAS-WSS
Data Debit Harian DAS Betung	BBWS Mesuji Sekampung

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) digunakan untuk mengkaji pengelolaan daerah aliran sungai. Parameter input model SWAT yang dibutuhkan untuk merunning SWAT adalah karakteristik tutupan lahan, karakteristik tanah, karakteristik lereng, dan karakteristik iklim. 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.

3.4.1 Parameter Input Model SWAT

3.4.1.1 Karakteristik Tutupan Lahan

Identifikasi tutupan lahan pada penelitian ini menggunakan peta tutupan lahan yang diperoleh dari Direktorat Jenderal Planologi KLHK RI. Peta tutupan lahan tersebut selanjutnya dilakukan validasi dengan mendigitasi ulang peta tutupan lahan sesuai citra satelit (SAS Planet). Setelah dilakukan validasi dengan digitasi ulang, kemudian dilakukan validasi kembali dengan melakukan *groundcheck*. Kegiatan *groundcheck* dilakukan dengan memperhatikan kanopi (tajuk tanaman), tutupan permukaan dan kegiatan pengelolaan yang dilakukan pada masing-masing penggunaan lahan DAS Betung. Menurut Apriadi (2022) proses hidrologi sangat mempengaruhi karakteristik tutupan lahan. Karakteristik tutupan lahan sangat berpengaruh terhadap proses hidrologi yang ditunjukkan oleh nilai bilangan kurva aliran permukaan.

3.4.1.2 Karakteristik Tanah

Data karakteristik tanah didasarkan pada peta overlay antara jenis tanah, tutupan lahan, dan kelerengan sesuai dengan deliniasi DAS Betung untuk mengidentifikasi karakteristik hidrologi DAS. Karakteristik tanah yang dibutuhkan dalam menjalankan SWAT, yaitu jumlah lapisan, *hydrology soil group* (HSG), kedalaman lapisan, tekstur tanah, permeabilitas tanah, C-Organik, dan USLE.

Pada penelitian ini, data karakteristik tanah diperoleh berdasarkan pengamatan lapang yang telah dilakukan oleh Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Seputih Sekampung. Data tersebut selanjutnya diolah menggunakan Microsoft Excel, kemudian dimasukkan ke dalam database SWAT dengan menggunakan Microsoft Access.

3.4.1.3 Karakteristik lereng

Karakteristik lereng di DAS Betung dibuat dengan menggunakan data DEM (*Digital Elevation Model*) dengan resolusi 5 m x 5 m dengan *cell size* 8,30. Kelas lereng di DAS Betung dibagi menjadi lima kelas berdasarkan klasifikasi Departemen 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%).

3.4.1.4 Karakteristik Iklim

Data iklim yang digunakan di DAS Betung adalah periode tahun 2015- 2022. Data iklim yang digunakan sebagai input model SWAT untuk DAS Betung diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Branti di Provinsi Lampung. Data iklim yang digunakan sebagai input pembangkit dalam model SWAT disajikan pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Data iklim yang digunakan Pemodelan

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

Data curah hujan harian yang digunakan sebagai input *pcp.txt* dalam model SWAT meliputi periode 2015-2022 dari satu stasiun curah hujan, yaitu Sumur Putri. 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.

3.4.2 Menjalankan Model SWAT

3.4.2.1 Deliniasi DAS

Tahap awal yang harus dilakukan dalam analisis hidrologi dengan pemodelan SWAT, yaitu deliniasi DAS (pembentukan batas DAS). Pada tahap ini langkah awal yang dilakukan adalah menginput data DEM Lampung pada fitur DEM Setup, selanjutnya menentukan *masking* dengan menginput data raster lokasi penelitian, setelah itu membentuk jaringan sungai 250 Ha dengan menggunakan fitur *stream definition*, lalu menentukan outlet DAS dengan menggunakan fitur *outlet and inlet definition*, kemudian dilakukan seleksi outlet dengan menggunakan fitur *watershed outlets selection and definition*, dan yang terakhir perhitungan parameter DAS dengan menggunakan fitur *calculate subbasin parameter* untuk mulai menghitung parameter hidrologi DAS.

3.4.2.2 Pendefinisian 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 akan 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.

3.4.2.3 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 (*Sub basins Data*), *groundwater, management*, HRU data, parameter penelusuran aliran/routing, parameter aliran dasar, parameter pengelolaan tanaman, parameter sampel tanah dan pengolahan tanah, serta *watershed* data.

3.4.2.4 Setup dan Run SWAT

Tahap selanjutnya adalah *running* SWAT 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 akan dilakukan.
2. Tahap kedua memilih distribusi curah hujan yang digunakan dari tahun 2015-2022 dengan *warming up* 7 tahun.
3. Tahap ketiga memilih menu *Setup SWAT Run*.
4. Tahap terakhir, yaitu *Run* SWAT. Proses simulasi SWAT dilakukan setelah proses penggabungan HRU data iklim selesai.

3.4.2.5 Output Model

Model SWAT menghasilkan output file yang terpisah untuk Subbasin, HRU, Sungai utama beserta alirannya. Informasi yang terdapat dalam file Subbasin (output.sub) dan HRU (output.hru) terdiri dari jumlah curah hujan (PRECIP), *surface runoff* (SURQ), *subsurface runoff* (LATQ), aliran bawah tanah (GW_Q), hasil air (WYLD) 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 akan digunakan adalah jumlah aliran air sungai yang keluar (FLOW_OUT).

3.4.3 Akurasi Model (Kalibrasi dan Validasi)

Akurasi model mencakup kalibrasi dan juga validasi untuk mengevaluasi seberapa akurat kinerja pada permodelan SWAT. 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.

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

Keterangan:

Y_1^{obs} = Data observasi ke-i

Y_1^{sim} = Data simulasi ke-i

\bar{Y}_1^{obs} = Data observasi rata-rata

n = Jumlah observasi

Rentang nilai NSE terletak antara 0 sampai 1, dengan NSE = 1 merupakan nilai optimal. Nilai NSE antara 0.0 sampai 1.0 secara umum dilihat sebagai level performa model yang dapat diterima, sedangkan nilai NSE ≤ 0.36 mengindikasikan bahwa rata-rata nilai data observasi merupakan alat prediksi yang mendekati nilai data simulasi, maka rentang nilai tersebut menunjukkan level performa yang dapat diterima (Motovilov dkk., 1999). Nilai efisiensi NSE dikelompokkan menjadi 3 kelas yang terdapat dalam tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5. Nilai NSE Kalibrasi

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

Sumber: Motovilov dkk., 1999

3.4.4 Skenario Perubahan Tutupan Lahan

Skenario tutupan lahan pada penelitian ini dilakukan dengan tujuan memperbaiki kondisi hidrologi pada DAS Betung yang meliputi aliran permukaan (*surface runoff*), aliran bawah permukaan (*subsurface runoff*), aliran dasar (*baseflow*), koefisien regim aliran (KRA), dan koefisien aliran tahunan (KAT).

Skenario dilakukan dengan mengubah penggunaan lahan yang tidak produktif menjadi kawasan hutan dengan minimal luas sebesar 30% dari luas DAS sesuai dengan peta fungsi kawasan hutan. Sebagaimana yang telah tercantum pada Pasal 18 dalam Undang-Undang 41 Republik Indonesia Tahun 1999 Tentang Kehutanan pada ayat 2 yang berbunyi “Luas tutupan 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 proporsional”.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terkait analisis karakteristik hidrologi pada DAS Betung maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Kondisi sebelum skenario, DAS Betung memiliki nilai Aliran permukaan (*surface runoff*) sebesar 164,41 mm, aliran bawah permukaan (*subsurface runoff*) sebesar 534,42 mm, dan aliran dasar (*baseflow*) 240,04 mm. Setelah dilakukan skenario kondisi DAS Betung menjadi lebih baik dengan nilai aliran permukaan (*surface runoff*) menjadi 144,39 mm (menurun 13,87%), aliran bawah permukaan (*subsurface runoff*) menjadi 566,76 mm (meningkat 5,71%), dan aliran dasar (*baseflow*) menjadi 275,00 mm (meningkat 12,71%).
2. Koefisien rezim aliran (KRA) pada DAS Betung sebesar 178,05 termasuk kelas sangat tinggi, dengan debit minimum sebesar 0,076 m³/detik dan debit maksimum sebesar 13,610 m³/detik. Berdasarkan nilai KRA tersebut, kondisi debit maksimum dan minimum pada DAS Betung dikategorikan sangat buruk. Setelah dilakukan skenario, koefisien aliran permukaan (KRA) membaik menjadi 78,20 dengan debit minimum sebesar 0,152 m³/detik dan debit maksimum sebesar 11,910 m³/detik. Berdasarkan hasil skenario tersebut maka nilai KRA termasuk ke dalam kategori sedang (cukup baik).
3. Koefisien aliran tahunan (KAT) pada DAS Betung sebesar 0,34 termasuk kelas sedang (cukup baik). Berdasarkan nilai KAT tersebut DAS Betung cukup efisien dalam menyerap air hujan sehingga, air tidak langsung menuju ke sungai, namun sebagian terserap oleh tanah. Setelah dilakukan skenario koefisien aliran tahunan meningkat menjadi 0,35, namun masih termasuk ke dalam kategori sedang (cukup baik). Peningkatan nilai KAT disebabkan karena kondisi topografi yang curam dan perubahan iklim mikro yang

disebabkan oleh luasnya tutupan lahan yang mencapai 54,55% dari total luas DAS.

5.1 Saran

Untuk penelitian selanjutnya diusahakan menggunakan stasiun iklim lebih dari satu supaya hasil simulasi lebih representatif terhadap kondisi aktual DAS. Sedangkan untuk kondisi hidrologi DAS Betung perlu diperhatikan kembali oleh pemerintah setempat, karena DAS tersebut merupakan salah satu DAS yang memenuhi kebutuhan air masyarakat di Kota Bandar Lampung. Selain itu, tutupan lahan pertanian lahan kering campuran yang mendominasi pada DAS Betung perlu dilakukan tindakan konservasi tanah dan air karena berpotensi mengganggu sistem tata air pada DAS tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrian, Supriadi, & Marpaung, P. (2014). Pengaruh Ketinggian Tempat dan Kemiringan Lereng terhadap Produksi Karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) di Kebun Hapesong PTPN III Tapanuli Selatan. *E-Journal Agroekoteknologi*. 2 (3): 981–989.
- Apriadi. 2022. Karakteristik Hidrologi DAS Ilahan menggunakan Pemodelan SWAT (Soil and Water Assessment Tool). *Tesis*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Apriadi., Banuwa, I.S., Yuwono, B.S., Wulandari, C., Winarno, G.D., Fitriana, Y.R., Gumay I.F. 2023. Karakteristik Hidrologi di DAS Ilahan Menggunakan Pemodelan SWAT (Soil and Water Assesment Tools). *Jurnal Hutan Tropis*. 11 (1): 45–53.
- Arsyad, S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air*. Edisi Kedua. IPB Press. Bogor.
- Asdak, C. 2010. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Badan Pusat Statistik. 2021. Kecamatan Betung dalam Angka 2021. Badan Pusat Statistik. Banyuasin.
- Banuwa, I.S. 2013. *Erosi*. Kencana Prenada Media Group. Jakarta.
- Brogna, D., Vincke, C., Brostaux, Y., Soyeurt, H., Dufrêne, M., & Dendoncker, N. 2017. How does forest cover impact water flows and ecosystem services? Insights from “real-life” catchments in Wallonia (Belgium). *Ecological Indicators*. 72: 675–685.
- Bushron, R., Rachman, L.M., Baskoro, D.P., Soemarno. 2022. Proyeksi Konservasi Tanah dan Air Mitigasi Penurunan Jasa Lingkungan Tata Hidrologi DAS Hulu Brantas. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 20 (3): 474-483.
- Dasuka, Y. P., Sasmito, B., & Hani’ah. 2015. Analisis Perubahan Penggunaan dan Pemanfaatan Lahan tahun 2009 dan 2017 (Studi kasus: Kabupaten Boyolali) Merpati. *Jurnal Geodesi Undip Jurnal Geodesi Undip*. 6 (4): 86–94.
- Farid, M., Pratama, M. I., Kuntoro, A. A., Adityawan, M. B., Rohmat, F. I. W., Moe, I.

- R. 2022. Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan terhadap Debit Banjir di Daerah Aliran Sungai Ciliwung Hulu. *Jurnal Teknik Sipil*. 28 (3): 309–318.
- Febrianti, I., Ridwan, I., Nurlina. 2018. Model SWAT (Soil and Water Assesment Tool) untuk Analisis Erosi dan Sedimentasi di Catchment Area Sungai Besar Kabupaten Banjar. *Jurnal Fisika FLUX*. 15 (1): 20.
- Fiantis, D. 2017. *Morfologi dan Klasifikasi Tanah*. Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas. Padang.
- Gitika, T., & Ranjan, S. 2014. Estimation of Surface Runoff using NRCS Curve number procedure in Buriganga Watershed, Assam, India -A Geospatial Approach. *International Research Journal of Earth Science*. 2 (5): 1-7.
- Gozal, R., Trisnawarman, D., & Wasino. 2020. Sistem Informasi Geografis Pemetaan Tempat Pembuangan Sementara. *Jurnal Ilmu Komputer Dan Sistem Informasi*. 8 (1): 143.
- Healy, R. W., & Essaid, H. I. 2012. VS2DI: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*. 55 (4): 1249–1260.
- Jain, S. K., Tyagi, J., & Singh, V. 2010. Simulation of Runoff and Sediment Yield for a Himalayan Watershed Using SWAT Model. *Journal of Water Resource and Protection*. 2 (3): 267–281.
- Kasmawati, Hasanah, U., & Rahman, A. (2016). Prediksi Erosi pada Beberapa Penggunaan Lahan di Desa Labuan Toposo Kecamatan Labuan Kabupaten Donggala. *E-J. Agrotekbis*. 4 (6): 659– 666.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 1999. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Pasal 18 Undang-Undang Nomor 41 Tahun 1999 *Tentang Kehutanan*. Jakarta.
- Kementerian Kehutanan. 2014. *Peraturan Menteri Kehutanan Nomor:P.61/Menhut-II/2014 Tentang Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan DAS*. Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2012. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2015. *Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial Nomor: P.2/V-SET/2015 tentang Juknis Pemanfaatan Model Hidrologi dalam Pengelolaan DAS*. Jakarta. Dirjen PDASHL.
- Kharistiani, E., & Ariwibowo, E. 2013. Sistem Informasi Geografis Pemetaan Potensi SMA/SMK Berbasis Web. *Jurnal Sarjana Teknik Informatika*. 1 (1): 712–720.

- Kusumaningrat, M.D., Subiyanto, S., & Yuwono B.A. 2017. Analisis Perubahan Penggunaan dan Pemanfaatan Lahan Terhadap Rencana Tata Ruang Wilayah Tahun 2009 dan 2017. *Jurnal Geodesi Undip*. 6 (4): 443-452.
- Marhendi, T., & Iskahar. 2017. Effect of Length Factor Slope to Early Determination of Land Erosion. *Jurnal Riset Sains Dan Teknologi*. 1 (2): 51–57.
- Motovilov, Y.G., Gottschalk, L., Emgeland, K., Rodhe, A. 1999. *Validation of a Distributed Hydrological Model Against Spatial Observation*. Agricultural and Forest Meteorology. 98-99: 257 – 277.
- Mubarok, Z. 2014. Kajian Respons Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Karakteristik Hidrologi DAS Betung. *Tesis*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Mubarok, Z., Murtalaksono, K., & Wahjunie, E. D. 2015. Response of Landuse Change on Hydrological Characteristics of Betung Watershed - Lampung. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*. 4 (1): 1-10.
- Nafisah., Fauzi, M., Hendri, A. 2019. Analisis Indikator Klasifikasi DAS Kampar Kanan Berdasarkan Kriteria Tata Air. *Jurnal Saintek STT Pekanbaru*. 7 (1): 1-47.
- Neitsch, S., Arnold, J., Kiniry, J., & Williams, J. 2011. *Soil & Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009*. Texas Water Resources Institute. Texas.
- Prasetyo, S.Y.J. 2023. *Klimatologi Pertanian*. Uwais Inspirasi Indonesia. Jawa Timur.
- Pribadi, A.D., Kusumawati, R.D., Firdausi, A.A. 2020. Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan terhadap Karakteristik Hidrologi di DAS Sampean Kabupaten Bondowoso. *Jurnal Ilmiah Desain dan Konstruksi*. 19 (2): 84-101.
- Rantung, M.M., Binilang, A., Wuisan, E.M., & Halim, F. 2013. Analisis Erosi dan Sedimentasi Lahan di Sub DAS Panasen Kabupaten Minahasa. *Jurnal Sipil Statik*. 1 (5): 309-317.
- Qiu, J., Shen, Z., Leng, G., Xie, H., Hou, X., & Wei, G. 2019. Impacts of climate change on watershed systems and potential adaptation through BMPs in a drinking water source area. *Journal of Hydrology*. 573 (January): 123–135.
- Sanger, Y.Y.J. 2016. Pengaruh Tipe Tutupan Lahan Terhadap Iklim Mikro di Kota Bitung. *Jurnal Agri-SosioEkonomi*. 12 (3A): 105-116.
- Staddal, I. 2016. Analisis Aliran Permukaan Menggunakan Model SWAT di DAS Bila Sulawesi Selatan. *Jtech*. 4 (1): 57-63.
- Supangat, A. B. 2012. Karakteristik hidrologi berdasarkan parameter morfometri DAS di kawasan Taman Nasional Meru Betiri. *Jurnal Penelitian Hutan Dan*

Konservasi Alam. 9 (3): 275–283.

Sutanto. (2013). *Metode Penelitian Penginderaan Jauh*. Uwais Inspirasi Indonesia. Ponorogo.

Tribiyono, B., Yuwono, S.B., & Banuwa, I.S. 2018. Estimasi Erosi dan Potensi Sedimen DAM Batutege di DAS Sekampung Hulu dengan Metode SDR (Sediment Delivery Ratio). *Jurnal Hutan Tropis*. 6 2): 161-169.

Upadani, I.G.A.W. 2017. Model Pemanfaatan Modal Sosial Dalam Pemberdayaan Masyarakat Pedesaan Mengelola Daerah Aliran Sungai (Das) Di Bali. *Jurnal Lingkungan & Pembangunan*. 1 (1) 11–22.

Utami, W. U., Dwi Wahjunie, E., & Darma Tarigan, S. 2020. Karakteristik Hidrologi dan Pengelolaannya dengan Model Hidrologi Soil and Water Assessment Tool Sub DAS Cisadane Hulu. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25 (3): 342–348.

Wang, J., Hu, Z., Wu, Y., & Zhang, J. 2023. *Remote Sensing of Watershed*. MDPI. Basel.

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*. 11 (1): 51–60.

Winarno, G. D., Harianto, S. P., & Santoso, R. 2019. *Klimatologi Pertanian*. Pusaka Media. Bandar Lampung.

Yasa, I. W., Negara, I.D.G., Putra, I.B.G., & Asri N.K.R.W. 2020. Model Eksperimental Limpasan Permukaan Pada Perkerasan Paving Block Dengan Penambahan Rumput Antar Paving. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*. 9 (1): 87–101.

Yumansyah, A., Purwanto, M. Y. J., & Setiawan, Y. 2021. Strategi Konservasi Daerah Tangkapan Air Bendung Ciliman Banten. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*. 11 (1): 152–164.

Yunagardasari, C., Paloloang, A. K., & Monde, A. 2017. Model infiltrasi pada berbagai penggunaan lahan di Desa Tulo Kecamatan Dolo Kabupaten Sigi. *Agrotekbis*. 5 (3): 315–323.

Yusuf, S.M., Nugroho, S.P., Effendi, H., Prayoga, G., Permadi, T., Santoso, E.N., 2021. Surface runoff of Bekasi River Subwatershed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.

Yuwono, S.B., Sinukaban, N., Murti Laksono, K., Sanim, B. 2011. Land Use Planning of Betung Watershed for Sustainable Water Resources Development of Bandar Lampung City. *J Trop Soils*. 16 (1): 77-84.

- Zahri, R., Fauzi, M., & Sujatmoko, B. 2017. Analisis Karakteristik DAS Tapakis Berbasis Sistem Informasi Geografis Untuk Analisis Hidrograf Satuan Sintetik. *Jom FTEKNIK*. 4 (1): 21–31.
- 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*. 233 (September 2018): 264–270.