ANALISIS DEBIT SUNGAI SUB-DAS BULOK MENGGUNAKAN MODEL SWAT (*SOIL WATER ASSESSMENT TOOL)*

(Skripsi)

Oleh

Nasya Afra Rosalifa

FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022

ABSTRACT

BULOK WATERSHED RIVER FLOW ANALYSIS USING SWAT (SOIL WATER ASSESSMENT TOOL) MODEL

By

Nasya Afra Rosalifa

Bulok watershed is one part of Sekampung watershed, land conversion that occurs in Bulok watershed effected the amount of critical land up to 23% of the total area and increased the amount of flow ratio. Flow analysis can be done using SWAT model. Using SWAT, the spatial data in the model could generate non spatial data such as simulated river flow. SWAT model relevance identified by the R^2 and NSE. The study aims to analyze the river flow of Bulok watershed, to determine the parameter value that affects the river flow, and to examine the SWAT model performance in predicting the river flow. This study resulted the average observed river flow from 2016 to 2018 is 15,83 m^3/s and the average river flow after calibration is 16,64 m^3/s, the parameters that affected the river flow are groundwater flow factors (ALPHA_BF), groundwater "revap" coefficient (GW_REVAP), soil evaporation compensation factor (ESCO), plant uptake compensation factor (EPCO), main channel's hydraulic conductivity (CH_K2), available water capacity of soil layer (SOL_AWC), manning's value of the main channel (CH_N2), surface runoff lag coefficient (SURLAG) and manning's value for overland flow (OV_N), and SWAT model could predict the river flow in Bulok watershed in satisfactory value where the calibration process using data from 2016-2018 obtained R^2 0,78 and NSE 0,55 and validation process using data from 2019-2021 obtained R^2 0,89 and NSE 0,64.

Keywords : Hydrological Model, SWAT, Calibration, Validation

ABSTRAK

ANALISIS DEBIT SUNGAI SUB-DAS BULOK MENGGUNAKAN MODEL SWAT (*SOIL WATER ASSESSMENT TOOL)*

Oleh

Nasya Afra Rosalifa

Sub-DAS Bulok merupakan salah satu sub-DAS dari DAS Sekampung yang terjadi alih fungsi lahan dimana jumlah lahan kritis sebesar 23% dari total luas wilayah dan terjadi peningkatan KRA akibat perubahan penggunaan lahan yang mempengaruhi debit sungai. Penelurusuran analisis debit sungai dapat dilakukan dengan model SWAT. Dengan model SWAT, data spasial dapat menghasilkan keluaran berupa data non spasial yaitu data debit simulasi. Relevansi model SWAT dilihat dari nilai R^2 dan NSE. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis debit sungai sub-DAS Bulok, mengetahui dan menentukan nilai parameter model yang mempengaruhi debit sungai, dan mengkaji kinerja model SWAT dalam memprediksi debit sungai. Hasil penelitian mendapatkan besar rata-rata debit observasi sub-DAS Bulok pada tahun 2016-2018 sebesar 15,83 m^3/detik dengan debit simulasi yang telah dikalibrasi sebesar 16,64 m^3/detik, Parameter model yang mempengaruhi debit sungai antara lain faktor aliran air tanah (ALPHA_BF), koefisien kehilangan air tanah (GW_REVAP), faktor evaporasi permukaan tanah (ESCO), faktor transpirasi tanaman (EPCO), konduktivitas hidrolik sungai (CH_K2), koefisien jeda aliran permukaan (SURLAG), kapasitas tanah menahan air (SOL_AWC), konstanta Manning's sungai (CH_N2) dan konstanta Manning's permukaan tanah (OV_N), serta model SWAT dapat memprediksi debit sungai DAS Bulok dengan nilai memuaskan dimana pada kalibrasi didapatkan R^2 sebesar 0,78 dan NSE sebesar 0,55 dan R^2 0,89 dan NSE 0,64 dari proses validasi.

Kata kunci : Model Hidrologi, SWAT, Kalibrasi, Validasi

ANALISIS DEBIT SUNGAI SUB-DAS BULOK MENGGUNAKAN MODEL SWAT (*SOIL WATER ASSESSMENT TOOL)*

Oleh

Nasya Afra Rosalifa

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung

FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022

Judul Skripsi : **ANALISIS DEBIT SUNGAI SUB-DAS BULOK MENGGUNAKAN MODEL SWAT (*SOIL WATER ASSESSMENT TOOL*)**

Nama Mahasiswa : Nasya Afra Rosalifa

Nomor Pokok Mahasiswa : **1814071059**

Jurusan : **Teknik Pertanian**

Fakultas : **Pertanian**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Dr. Ir. Ridwan, M.S.	**Dr. Muhammad Amin, M.Si.**
NIP. 196511141995031001	NIP. 196102201988031002

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.
NIP. 196210101989021002

Dipindai dengan CamScanner

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Ir. Ridwan, M.S.** .....

Sekretaris : **Dr. Muhammad Amin, M.Si.** .....

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.** .....

2. Dekan Fakultas Pertanian

Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 196110201986031002

Tanggal Ujian Skripsi : **10 Agustus 2022**

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN HASIL KARYA

Saya adalah **Nasya Afra Rosalifa** NPM **1814071059**

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) **Dr. Ir. Ridwan, M.S.** dan 2) **Dr. Muhammad Amin, M.Si.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 10 Agustus 2022
Yang membuat pernyataan

Nasya Afra Rosalifa

NPM. 1814071059

Dipindai dengan CamScanner

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 4 April 2000, anak pertama dari lima bersaudara dari pasangan Bapak Muhammad Nasir, S.E., M.M., dan Ibu Yani Ureana, S.E. penulis menyelesaikan pendidikan di Taman Kanak-Kanak di TK Pertiwi Provinsi Lampung pada tahun 2004-2006, Sekolah Dasar Negeri 2 Rawalaut Bandar Lampung pada tahun 2006-2012, Sekolah Menengah Pertama Negeri 4 Bandar Lampung pada tahun 2012-2015 dan Sekolah Menengah Atas Negeri 2 Bandar Lampung pada tahun 2015-2018. Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif mengikuti Lembaga Kemahasiswaan (LK) internal kampus sebagai anggota bidang Informasi dan Komunikasi Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) Universitas Lampung periode 2019-2021. Penulis juga pernah mengikuti program PERMATASARI di Institut Pertanian Bogor pada Tahun 2020.

Pada tahun 2021, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode I Tahun 2021 di Desa Sukarame II, Kecamatan Teluk Betung Barat, Kota Bandar Lampung selama 40 hari. Penulis juga melaksanakan Praktik Umum (PU) di P4S Jaya Anggara Farm, Bandar Lampung dengan judul **"Mempelajari Budidaya Tanaman Siomak (*Lactuca sativa* L.) Pada Hidroponik Sistem NFT (*Nutrient Film Technique)* Pada Jaya Anggara Farm, Bandar Lampung, Lampung"** pada bulan Agustus-September 2021.

PERSEMBAHAN

Dengan nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang kupersembahkan karya kecil ku ini sebagai tanda bakti dan cinta kasihku kepada:

Abi dan Umiku Tercinta

Bapak Muhammad Nasir dan Ibu Yani Ureana

yang mendidik dengan penuh perjuangan dan kasih sayang, selalu memberikan dukungan moril dan materil serta selalu mendoakan yang terbaik

Adik-adikku Tersayang

Meutia Hufyana, Tryana Bassalamah, Hafizah Syahnaz dan Hasyim Syahrozi

yang selalu mendoakan dan memberi semangat

Serta

Almamater Kebanggaan

Universitas Lampung

Jurusan Teknik Pertanian

Teknik Pertanian 2018

SANWACANA

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**Analisis Debit Sungai Sub-DAS Bulok Menggunakan Model SWAT (*Soil Water Assessment Tool)***" yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis banyak mendapat masukan, bantuan, dorongan, bimbingan, kritik dan saran dari berbagai pihak. Maka, dengan segala kerendahan penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Karomani, M.Si., selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
3. Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung sekaligus Pembahas yang telah memberikan saran dan motivasinya dalam penyelesaian skripsi ini;
4. Dr. Warji, S.TP., M. Si., selaku Pembimbing Akademik yang selalu memberikan bimbingan, mendukung dan memotivasi selama masa perkuliahan;
5. Dr. Ir. Ridwan, M.S., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan, saran dalam proses penyelesaian skripsi, dan memberikan motivasi serta semangat;
6. Dr. Muhammad Amin, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan, saran, dan motivasi selama proses penyelesaian skripsi:

7. Seluruh Dosen dan Staff Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung atas segala ilmu yang diberikan baik dalam perkuliahan dan yang lainnya, dukungan, dan bantuannya;
8. Umi dan Abi tercinta yang tidak henti-hentinya memberikan doa, dukungan baik moril dan materil, semangat dan nasihat selama menjalani perkuliahan sampai dengan selesai;
9. Adik-adikku serta Nyai dan Yai yang selalu mendoakan dan memotivasi;
10. Teman-temanku, Wahyuni Ma'rufah, Amalia Agustin, Maulydia Ayu Ningrum, Diana Maya Lestari, Putri Windasari, Sekar Kinanti, Bekti Dinasari dan Laily Rahmadani Putri, yang telah membersamai dari awal perkuliahan sampai saat ini;
11. Saudara Rizal Adi Saputra, S.Hut., dan Tio Arya Perdana atas bantuannya mengenai data penelitian dan aplikasi pendukung penelitian;
12. Kak Tony, Bapak Siratjuddin serta staff BBWS Mesuji-Sekampung atas informasi dan data penunjang penelitian;
13. Keluarga Teknik Pertanian 2018 yang selalu membersamai, memberikan dukungan dan semangat;

Penulis menyadari skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan pengetahuan baru kepada setiap orang yang membacanya.

Bandar Lampung, 10 Agustus 2022

Penulis

Nasya Afra Rosalifa

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR ..... **iv**
DAFTAR TABEL ..... **v**
I. PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 4
II. TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1 Siklus Hidrologi 5
2.2 Daerah Aliran Sungai 6
2.3 Pengelolaan DAS 7
2.4 Debit Sungai 9
2.5 Penggunaan Lahan 11
2.6 *Geographic Information System* 12
2.7 *Soil Water Assesment Tool* 13
2.8 SUFI-2 SWAT-CUP 15
III. METODOLOGI PENELITIAN **18**
3.1 Waktu dan Tempat 18
3.2 Alat dan Bahan 19
3.3 Tahapan Penelitian 19
3.3.1. Persiapan 19
3.3.2 Pengumpulan Data 21
3.3.3 Analisis SWAT 21
3.3.4 Kalibrasi Hasil Model SWAT 23
3.3.5 Validasi Hasil Model SWAT 26

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN **27**
4.1 Kondisi Lokasi Penelitian 27
4.2 Analisis SWAT (*Soil Water Assessment Tool)* 27
4.2.1 Delineasi DAS 27
4.2.2 ArcSWAT HRU *Distribution* 28
4.2.3 Input Parameter ArcSWAT 34
4.2.4 *Running* ArcSWAT *Simulation* 34
4.3 Kalibrasi Hasil Model SWAT 35
4.4 Validasi Hasil Model SWAT 40
V. KESIMPULAN DAN SARAN **42**
5.1 Kesimpulan 42
5.2 Saran 43
DAFTAR PUSTAKA **44**
LAMPIRAN **48**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Ilustrasi Hubungan Ketidakpastian Parameter Masukan Dengan Hasil Prediksi 17
Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian 18
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian 20
Gambar 4. Diagram Alir Kalibrasi SWAT-CUP 23
Gambar 5. Peta Distribusi Sub-DAS Bulok 28
Gambar 6. Peta Distribusi Jenis Penggunaan Lahan Sub-DAS Bulok 30
Gambar 7. Peta Sebaran Jenis Tanah sub-DAS Bulok 32
Gambar 8. Peta Distribusi Kemiringan Lereng Sub-DAS Bulok 33
Gambar 9. Scatter Plot Simulasi SWAT 35
Gambar 10. Grafik Debit Observasi dan Debit Simulasi Setelah Kalibrasi 39
Gambar 11. Scatter Plot Kalibrasi 39
Gambar 12. Grafik Debit Observasi dan Debit Simulasi Setelah Validasi 40
Gambar 13. Scatter Plot Validasi 41

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data yang Digunakan dalam Penelitian 19
Tabel 2. Kriteria NSE 25
Tabel 3. Distribusi Jenis Penggunaan Lahan Sub-DAS Bulok 29
Tabel 4. Distribusi Jenis Tanah Sub-DAS Bulok 31
Tabel 5. Distribusi Kemiringan Lereng 33
Tabel 6. Nilai Parameter SWAT Hasil Kalibrasi 37
Tabel 7. Data Wgen User Stasiun Panjirejo 49
Tabel 8. Data Wgen User Stasiun Pajaresuk II 49
Tabel 9. Data Wgen User Stasiun Panutan 49
Tabel 10. Data Wgen User Stasiun Gisting Atas 50
Tabel 11. Data Wgen User Stasiun Sukajaya 50
Tabel 12. Distribusi Land Use, Soil dan Slope Sub DAS Bulok 51

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Daerah aliran sungai (DAS) merupakan suatu wilayah yang berfungsi sebagai daerah tangkapan air *(catchment area)*, penyimpan air *(water storage)*, dan juga penyalur air *(water distributor)*. Daerah Aliran sungai terbagi menjadi tiga wilayah yaitu wilayah hulu, tengah dan hilir. DAS bagian hulu menjadi fokus perencanaan karna adanya ketertarikan biofisik dengan wilayah tengah dan hilirnya. DAS memiliki pengaruh besar dalam bagi manusia dalam memenuhi kebutuhan sumber daya air. Pengelolaan DAS perlu direncanakan dengan baik agar fungsi tersebut dapat terjaga.

Pengelolaan DAS merupakan sebuah pendekatan yang memiliki tujuan untuk mengoptimalkan manfaat air, tanah dan vegetasi dalam mengatasi kekeringan, banjir, erosi, dan meningkatkan produksi pertanian serta menambah ketersediaan air yang berkelanjutan. Selain itu DAS memiliki peranan penting dalam menjaga kualitas air, mencegah banjir dan kekeringan serta mengurangi aliran permukaan dari daerah hulu menuju daerah hilir.

DAS Sekampung merupakan DAS besar yang berada di Provinsi Lampung. Luas DAS Sekampung sebesar 484.181,80 ha. DAS Sekampung merupakan daerah aliran sungai yang utama di Provinsi Lampung dimana merupakan lumbung pangan utama atau produsen pangan, komoditas ekspor serta produk perikanan dan pangan lainnya untuk menghidupi jutaan penduduk. Sub-DAS Bulok termasuk salah satu Sub-DAS yang ada di DAS Way Sekampung. Dalam buku Pengendalian Risiko Lingkungan di DAS Sekampung, Lampung oleh Arifin *et al*

(2018), disebutkan bahwa DAS Sekampung merupakan DAS yang termasuk skala super prioritas, serta daerah tangkapan air di hulu telah menyebabkan degradasi lahan yang serius akibat pola tataguna lahan yang tidak sesuai dengan kaidah konsevasi. Bahkan dari seluruh lahan yang ada, 49% dari total lahan telah terdegradasi dan 34% lainnya berpotensi tinggi untuk terdegradasi.

Secara geografis Sub-DAS Bulok terletak pada 5°20'–5°35' LS dan 104°40'–105° 10' BT dan secara administratif, Sub-DAS Bulok melintasi Kabupaten Tanggamus, Kabupaten Pringsewu dan Kabupaten Pesawaran. Kondisi hidrologi di Sub-DAS Bulok mengalami konversi lahan. Perubahan tutupan lahan di Sub-DAS Bulok secara umum mengalami perubahan terjadi pada meningkatnya lahan pemukiman dan menurunnya lahan hutan akibat jumlah penduduk yang bertambah. Selain itu lahan yang berstatus kritis pada Sub-DAS Bulok meningkat secara signifikan dalam kurun waktu 2009-2018 yang semula hanya 1.540 ha (1% dari luas total) menjadi 20.364 ha (23,23% dari luas total). Kondisi hidrologi Sub-DAS Bulok saat ini memiliki potensi banjir karna peningkatan debit sungai pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau, hal ini mengindikasikan bahwa pengelolaan DAS kurang baik (Pratama, 2016).

Koefisien Regim Aliran (KRA) pada Sub-DAS Bulok menunjukkan peningkatan dari tahun 2013 sampai tahun 2017. Koefisien Regim Aliran sendiri merupakan perbandingan debit maksimum dengan debit minimum. Berdasarkan data spasial penggunaan lahan dari tahun 2013 dan 2017 nilai KRA terus meningkat dari 377,6 menjadi 448. Pertambahan nilai KRA yang sangat signifikan ini tentu sangat mengkhawatirkan (Riswulan *et al*, 2021). Peningkatan KRA salah satunya disebabkan oleh perubahan penggunaan lahan yang berpengaruh terhadap debit sungai secara langsung. Perubahan penggunaan lahan akan mengurangi kemampuan infiltrasi tanah dan meningkatkan aliran permukaan. Alih fungsi lahan akan tergambarkan dengan indikator fluktuasi debit. Perencanaan dan keputusan yang tepat menjadi faktor utama agar kondisi alam tetap terjaga. Perlu adanya alat yang mampu menghubungkan kondisi sumber daya lahan dan sumber daya air dengan penggunaan lahan yang dapat memprediksi pengaruhnya terhadap kondisi hidrologis suatu DAS.

Saat ini sudah banyak berkembang berbagai model hidrologi yang dapat merepresentasikan kondisi hidrologi pada sebuah DAS. Salah satunya dengan model SWAT (*Soil Water Assesment Tools)* yang mampu mengakomodir parameter iklim, penggunaan lahan, topografi dan karakteristik (Latifah, 2013). SWAT merupakan model berskala DAS bersifat kontinyu yang dibuat untuk memprediksi dampak jangka panjang dari manajemen lahan, dan tanah terhadap kondisi suatu DAS. Penelusuran analisis debit sungai pada suatu DAS dapat dilakukan dengan model SWAT. Dengan model SWAT, dari data yang diolah yaitu data spasial, dapat menghasilkan data non spasial atau dalam penelitian ini menghasilkan data debit sungai. Model SWAT juga dapat memprediksi secara kontinyu berdasarkan simulasi yang rasional terhadap perubahan penggunaan lahan terhadap debit.

Simulasi hidrologi DAS dengan model SWAT dapat diterima apabila telah dikalibrasi dan validasi. Hal ini diperlukan karna tiap-tiap DAS memiliki kondisi dan karakteristik yang berbeda. Proses kalibrasi dan validasi SWAT dilakukan dengan membandingkan debit simulasi dengan debit observasi pada periode tertentu. Relevansi model SWAT dinilai dari R^2 dan nilai NSE. Model dianggap valid jika dapat menggambarkan dan memprediksi dengan mendekati keadaan yang sebenarnya. Berdasarkan uraian diatas, maka dilakukan penulisan skripsi dengan judul “Analisis Debit Sungai Sub-DAS Bulok Menggunakan Model SWAT (*Soil Water Assessment Tool*)”

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Apakah model hidrologi SWAT dapat memprediksi kondisi hidrologis di DAS Bulok untuk masa yang akan datang?
2. Bagaimana akurasi dari hasil pemodelan menggunakan model SWAT?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis debit sungai pada Sub-DAS Bulok menggunakan model SWAT.
2. Mengetahui dan menentukan nilai parameter model yang berpengaruh terhadap debit sungai Sub-DAS Bulok.
3. Mengkaji kinerja model SWAT dalam memprediksi debit sungai pada Sub-DAS Bulok.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan proses perpindahan air dari tanah ke atmosfer dan kembali lagi ke tanah. Siklus hidrologi merupakan proses yang tidak akan pernah berhenti. Air menguap dari danau, sungai, laut dan permukaan tanah ke atmosfer. Air kemudian terkondensasi dan jatuh kembali lagi ke bumi melalui presipitasi. Air yang jatuh sebagian kembali menjadi hujan, sebagian diintersepsi oleh tutupan lahan, masuk ke tanah melalui permukaan tanah, mengalir kembali sebagai aliran bawah tanah dan aliran permukaan menjadi debit (Arsyad, 2010).

Panas matahari menyebabkan air dari danau, sungai, laut dan permukaan tanah berubah menjadi uap air, proses ini disebut evaporasi atau penguapan. Uap air yang menguap dan mengalami proses kondensasi yang menghasilkan tetesan air. Tetesan air tersebut akan saling bergabung dan menjadi tetesan air yang lebih besar sehingga cukup untuk kembali ke permukaan bumi sebagai hujan atau presipitasi. Air yang jatuh sebagian langsung kembali ke laut dan menjadi hujan, ada yang tertahan pada batang dan daun tumbuh-tumbuhan atau intersepsi, ada yang jatuh langsung ke permukaan tanah dan masuk ke dalam zona air tanah, proses ini disebut dengan infiltrasi dan ada yang mengalir diatas permukaan sebagai aliran permukaan atau *runoff* (Hamdan, 2010).

Pada proses infiltrasi dipengaruhi oleh kondisi lahan antara lain tekstur tanah dan tutupan lahan. Tekstur tanah yang kasar akan terisi air lebih cepat daripada tekstur tanah yang halus karna ruang pori pada tanah bertekstur halus lebih rapat dan lebih mudah terisi sehingga aliran permukaan terjadi lebih cepat. Sedangkan untuk tutupan lahan juga mempengaruhi dimana pada tutupan lahan bervegetasi lebat

atau rapat air tidak langsung jatuh ke tanah melainkan tertahan pada batang dan daun tumbuh-tumbuhan (intersepsi) dan akan menguap kembali ke atmosfir melalui transpirasi. Akar tumbuhan juga mempermudah air untuk masuk ke tanah, serta tutupan lahan juga mengurangi dampak dari hujan yang jatuh sehingga erosi dapat dikurangi dan air tidak langsung menjadi aliran permukaan (*runoff*) (Hamdan, 2010).

2.2 Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2012 adalah suatu wilayah daratan yang berupa satu-kesatuan dengan sungai serta anak sungainya yang memiliki fungsi untuk menampung, menyimpan dan mendistribusikan air yang berasal dari curah hujan menuju sungai, danau ataupun laut secara alamiah dan memiliki batas darat berupa pemisah topografis dan batas laut sampai daerah perairan yang masih dipengaruhi aktivitas daratan.

Daerah Aliran Sungai merupakan sebuah ekosistem yang terdiri atas komponen biotik dan abiotik yang saling berinteraksi satu sama lain dan kemudian membentuk kesatuan yang teratur. Aktivitas satu komponen dipengaruhi komponen ekosistem yang ainnya. Daerah Aliran Sungai dibagi menjadi 3 bagian yaitu daerah hulu, tengah dan daerah hilir. Daerah hulu suatu das merupaan daerah konservasi yang dikelola untuk mempertahankan kondisi lingkungan DAS agar tidak terdegradasi, mempunyai karakteristik antara lain memiliki kerapatan drainase yang lebih tinggi, memiliki kemiringan lereng yang besar (kurang lebih >15%), bukan merupakan daerah banjir dan jenis vegetasi berupa hutan. Ekosistem yang ada pada daerah hulu DAS memiliki peran penting karena mempunyai fungsi perlindungan terhadap seluruh bagian DAS. Daerah tengah merupakan daerah transisi. Kemudian daerah hilir merupakan daerah pemanfaatan sumber daya air sungai yang dikelola untuk dapat memberikan manfaat bagi manusia untuk kepentingan sosial dan ekonomi yang di indikasikan dengan kuantitas dan kualitas airnya, kemampuan dalam menyalurkan air, intensitas hujan dan pemenuhan akan kebutuhan pertanian dan air bersih. Daerah hilir memiliki

karakteristik kerapatan drainase rendah, merupakan daerah banjir pada beberapa titiknya, kemiringan lereng yang kecil serta vegetasi lahan berupa tanaman pertanian (Asdak, 2010).

Daerah Aliran Sungai adalah daerah tangkapan air yang memiliki peranan penting dalam menyediakan kebutuhan sumber daya air bagi manusia. DAS juga berperan dalam melindungi lingkungan sekitarnya termasuk dengan menjaga kualitas air, mencegah banjir dan kekeringan pada tiap musim penghujan dan musim kemarau, dan juga mengurangi aliran massa berupa tanah dari daerah hulu ke hilirnya (Tanika *et al*, 2016).

Penggunaan lahan termasuk faktor utama yang mempengaruhi fungsi tata air pada suatu DAS. Pada luasan DAS yang kurang dari 100m^2, dalam artian memiliki luas DAS yang sempit, tutupan lahan berupa hutan sangat berpengaruh dalam mengatur tata air DAS yaitu dengan menjaga keberlanjutan aliran sungai dan mengurangi debit puncak dan juga mengurangi debit sedimen. Luas DAS mempengaruhi debit sungai. DAS yang luas akan memiliki aliran permukaan dan debit sungai yang besar pula (Junaidi *et al*, 2011).

2.3 Pengelolaan DAS

Penggunaan lahan adalah salah satu faktor penting dalam menetapkan kondisi hidrologi di sebuah DAS. Perubahan penggunaan lahan pada sebuah DAS akan mengakibatkan terjadinya perubahan kondisi hidrologi pada DAS tersebut. Kerusakan DAS mengakibatkan infiltrasi DAS menurun sehingga aliran permukaan serta erosi meningkat. Hal ini mengindikasikan suatu DAS atau Sub-DAS gagal dalam melakukan tugas dan funsginya sebagai pengatur tata air. Terganggunya komponen DAS akan mempengaruhi keseluruhan fungsi ekosistem sebuah DAS. Dalam menjaga atau menambah fungsi dan hubungan komponen penyusun DAS, dibutuhkan pengelolaan yang baik dan benar untuk diterapkan di lapangan. Pengelolaan DAS mencakup unsur perencanaan, pelaksanaan, pemantauan dan penilaian (Manik, 2012)

Pengelolaan DAS merupakan upaya yang dilakukan manusia dalam memanfaatkan sumber daya air dalam suatu ekosistem DAS sehingga DAS dapat dimaksimalkan fungsinya dalam waktu yang tidak terbatas untuk mencukupi kebutuhan manusia. Upaya pengelolaan DAS harus dapat menyeimbangkan laju degradasi DAS dengan tingkat perbaikannya sehingga DAS dapat berfungsi dengan baik. Pengelolaan DAS dapat dilakukan dengan melakukan perencanaan yang optimal berdasarkan kemampuan DAS dan dengan mempertimbangkan keseimbangan lingkungan (Manik, 2012).

Pengelolaan DAS adalah upaya yang dilakukan manusia dalam menyesuaikan hubungan antara sumber daya alam dan manusia dengan segala aktivitasnya untuk mencapai kelestarian dan keharmonisan ekosistem dan meningkatkan guna sumber daya alam secara kontinyu. Pengelolaan DAS merupakan pendekatan yang memiliki tujuan untuk memaksimalkan manfaat dari tanah, air dan vegetasi dalam mengurangi banjir kekeringan, mencegah erosi tanah, meningkatkan produksi pertanian, dan menyediakan ketersediaan air secara berkelanjutan. Tingkatan pengelolaan di Daerah Aliran Sungai dalam rangka pengelolaan air sangat menentukan dalam menilai kondisi Daerah Aliran Sungai. Pengelolaan air tersebut akan memberikan pengaruh pada proses siklus hidrologi dan pola aliran air tahunan (Rifa’i, 2017).

Pengelolaan DAS dalam pelaksanaannya melibatkan banyak pihak dan pengambil kebijakan, terutama dalam pemanfaatan sumber daya alam dengan berbagai tujuan. Karena hal itulah harus dilakukan pendekatan multidisiplin. Kegiatan dalam pengelolaan DAS harus melibatkan institusi pemerintah dari berbagai bidang atau sektor serta berbagai macam kelompok masyarakat. Namun, apabila terlalu banyak pihak yang terlibat juga menjadikan pengambilan keputusan menjadi kurang optimal atau kurang efisien. Sistem pembangunan nasional telah diatur dalam perundang-undangan dapat dijadikan acuan atas dasar penyusunan perencanaan dan pengelolaan DAS dengan melibatkan berbagai unsur kelembagaan dengan efisien (Paimin, 2012).

2.4 Debit Sungai

Debit merupakan laju aliran air dalam bentuk volume yang melewati sebuah penampang melintang sungai per satuan waktu. Satuan internasional dari debit adalah meter kubik per detik (m^3/s). Pada laporan teknis, debit aliran ditunjukkan berupa bentuk hidrograf aliran. Hidrograf aliran merupakan suatu perilaku debit sebagai respon perubahan karakteristik biogeofisik yang terjadi oleh suatu kegiatan pengelolaan DAS atau dengan adanya perubahan fluktuasi iklim lokal musiman ataupun tahunan (Pratiwi, 2020).

Dalam siklus hidrologi, debit sungai terbentuk dari beberapa sumber air yang berasal dari bukit atau gunung. Bukit dan gunung berperan sebagai tempat penampung cadangan air yang berasal dari hujan, kemudian cadangan air tersebut terserap dan disimpan dalam tanah dan batuan. Semakin lama, volume air yang tersimpan menjadi besar, air kemudian keluar menuju permukaan melalui tekuk lereng. Air yang keluar itulah yang mengalir menjadi sungai. Karakteristik sungai dapat diketahui dengan dua jenis analisis yaitu dengan analisis pergerakan debit sungai dan analisis hubungan curah hujan dengan debit. Selain curah hujan, besarnya debit juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti luasan dan bentuk DAS, topografi, tanah dan tutupan lahan. Faktor-faktor penentu debit dikategorikan sebagai faktor atmosfer, parameter daerah tangkapan dan pengaruh hutan (Zahara, 2015).

Menurut Arsyad (2010) metode rasional dalam menentukan laju debit puncak, mempertimbangkan waktu konsentrasi. Waktu konsentrasi merupakan waktu yang dibutuhkan oleh air untuk mengalir dari satu titik ke titik lain yang telah ditentukan. Persamaan menghitung debit menggunakan metode rasional menurut USDA (*United State Soil Conservation Service*, 1987) adalah sebagai berikut:

$$Qp = 0{,}0028\ CiA \qquad (1)$$

Keterangan:

Qp = debit puncak (m^3/s)

C = koefisien aliran permukaan

i = intensitas hujan (mm/dt)

A = luas DAS (ha)

Komponen iklim salah satunya adalah curah hujan. Curah hujan memiliki hubungan dengan karakteristik DAS. Intensitas hujan, lama hujan dan penyebaran hujan mempengaruhi laju dan debit sungai. Hujan yang terjadi dengan singkat tidak banyak menghasilkan limpasan. Hujan dengan intensitas sama tapi lebih terjadi lebih lama akan menghasilkan debit yang besar. Debit sungai total yang terjadi akan secara langsung berhubungan dengan lama waktu terjadinya hujan (Muchtar *et al*, 2007).

Debit aliran permukaan mengalami perubahan terhadap waktu yang dipengaruhi oleh terjadinya hujan. Pada musim penghujan debit akan mencapai nilai maksimum dan pada musim kemarau akan mencapai nilai minimum. Perbandingan nilai debit maksimum (*Qmax*) dengan nilai debit minimum (*Qmin*) memberikan bukti kualitas penutupan lahan DAS yang bersangkutan. Apabila nilainya kecil maka tutupan lahan atau vegetasi di DAS tersebut baik dan sebaliknya (Arsyad, 2010).

Meningkatnya area terbangun dan berkurangnya lahan bervegetasi menyebabkan kemungkinan meningkatkan kenaikan koefisien *runoff* yang berkaitan dengan dengan meningkatnya debit maksimum sungai dan menurunnya debit minimum sungai yang selanjutnya akan menyebabkan fenomena banjir pada musim penghujan dan kekeringan pada musim kemarau (Sarminingsih, 2007),.

Aliran permukaan terbentuk apabila curah hujan telah melebihi laju infiltrasi air dalam tanah sehingga air mengalir dengan bebas. Aliran permukaan selanjutnya membentuk debit aliran. Faktor yang mempengaruhi aliran permukaan antara lain lama waktu hujan, intensitas dan penyebaran hujan (Asdak, 2010).

2.5 Penggunaan Lahan

Meningkatnya jumlah penduduk terhadap sumber daya lahan baik itu untuk kegiatan pertanian, pemukiman, industri, rekreasi ataupun kegitan yang lain akan menyebabkan terjadinya alih fungsi lahan yang akan mempengaruhi kelestarian sumber daya air. Alih fungsi lahan yang tidak terkendali dan tidak sesuai dengan kaidah konservasi seperti penebangan hutan di daerah hulu dan merubah tutupan lahan hutan menjadi fungsi lain yang memiliki daya dukung lingkungan yang terbatas akan menyebabkan ketidakseimbangan fungsi lahan. Hal ini ditandai dengan banjir pada musim hujan dan kekeringan di musim kemarau (Hamdan, 2010).

Aktivitas yang sifatnya mengubah tipe ataupun jenis penggunaan lahan akan memperbesar dan memperkecil hasil air (*water yield)*. Konversi lahan dengan memperbanyak permukaan yang kedap air akan menyebabkan berkurangnya infiltrasi, menurunkan pengisian kembali air bawah tanah dan akhirnya meningkatkan aliran permukaan. Besarnya air yang dapat disimpan bergantung pada jenis tanah, penggunaan lahan dan tataguna lahan. Peningkatan aliran permukaan mempengaruhi peningkatan debit secara langsung. Debit yang dihasilkan berbanding lurus dengan curah hujan (Rifa'i, 2017).

Penggunaan lahan merupakan bentuk aktifitas manusia terhadap sumber daya lahan yang baik bersifat permanen ataupun sementara yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan manusia baik material ataupun spiritual. Penggunaan lahan merupakan proses yang terjadi secara dinamis, terjadi perubahan secara terus menerus dan merupakan hasil darai perubahan pola dan besarnya aktifitas manusia. Dari sudut pandang hidrologi, perubahan lahan mempengaruhi karakteristik penutupan lahan, yang kemudian akan mempengaruhi sistem tata air DAS. Perubahan penggunaan lahan yang tidak melanggar kaidah konservasi dan mengikuti kelas kemampuan lahan tidak akan menyebabkan masalah yang serius (Asdak, 2010).

Lahan vegetasi mampu mengurangi debit, hal ini dikarenakan karena infiltrasi besar sehingga nilai *run off* kecil karena waktu perjalanan *run off* menuju saluran

lebih lama sebab alirannya ditahan oleh akar dan batang pohon. Apabila terus menerus terjadi alih fungsi lahan, maka tangkapan air mengecil sehingga nilai *run off* menjadi besar dan menyebabkan air langsung menuju ke saluran utama. Air hujan yang jatuh di lahan vegetasi, tidak akan langsung mengalir ke permukaan tanah karna sementara akan ditampung oleh tajuk, dan batang pohon. Setelah jenuh, air hujan yang datang akan menggantikan air hujan yang tertampung sebelumnya kemudian menetes ke tumbuhan bawah, seresah dan akhirnya permukaan tanah (Yanti *et al*, 2017).

2.6 *Geographic Information System*

Geographic Information System atau yang disebut juga Sistem Informasi Geografis merupakan sistem informasi berbasis komputer yang berfungsi untuk mengolah atau menyimpan data-data geogfrafis. GIS mampu menghubungkan berbagai macam data pada titik koordinat tertentu di bumi yang kemudian digabungkan, dianalisis dan dipetakan hasilnya. 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 *et al*, 2012).

Manfaat yang didapatkan dengan menggunakan GIS antara lain dengan memberikan kemudahan bagi para pengguna dan pengambil keputusan untuk mengambil langkah kebijakan yang diambil khususnya yang berkaitan dengan aspek spasial. Selain itu, GIS memberikan informasi yang mendekati kondisi ril di dunia nyata sehingga mampu memprediksi hasil dan perencanaan strategis. Dengan adanya GIS, maka akan mempermudah pemetaan lahan (Wibowo, 2015).

Perkembangan pengaplikasian teknologi GIS sudah banyak dilakukan di berbagai bidang dan kajian yang berkaitan dengan aspek kebumian. Kajian hidrologi Daerah Aliran Sungai telah banyak dilakukan dengan teknologi GIS. Dengan menggunakan GIS akan mempermudah dalam mengelola dan melakukan analisis data dalam jumlah yang besar secara bersamaan termasuk pada luasan DAS yang besar (Ridwan, 2014).

Secara dasar, GIS bekerja dengan dua tipe model data geografis yaitu model data vektor dan model data raster, data vektor merupakan informasi tentang posisi titik, garis dan poligon yang disimpan dalam bentuk x dan y koordinat. Lokasi titik digambarkan melaalui sepasang koordinat x dan y. Bentuk garis seperti jalan dan sungai digambarkan dengan kumpulan koordinat-koordinat titik. Bentuk poligon, seperti zona project disimpan sebagai pengulangan koordinat yang tertutup. Kemudian data raster merupakan sekumpulan grid atau sel seperti peta hasil scanning maupun gambar (*image)*. Tiap grid atau sel atau pixel memiliki nilai tertentu tergantung pada bagaimana image tersebut digambarkan. Untuk menggambarkan objek atau fitur permukaan bumi di monitor, maka perlu penggambaran yang mempresentasikan keadaan bumi yang sebenarnya atau disebut juga proyeksi. Proyeksi digambarkan dalam koordinat cartesian (x dan y). Proyeksi yang digunakan pada GIS adalah proyeksi *longitude* dan *latitude* dan *Universal Tansverse Mercator* (UTM). Proyeksi *longitude* dan *latitude* digunakan untuk menggambarkan keadaan global. Satuan yang digunakan adalah *degree* (º) (Hamdan, 2010).

2.7 *Soil Water Assesment Tool*

Soil Water Assesment Tool (SWAT) merupakan model hidrologi yang dikembangkan untuk memprediksi pengaruh pengelolaan lahan terhadap hasil air, sedimen, muatan pestisida dan kimia hasil pertanian. Model SWAT dikembangkan oleh *US Departement of Agriculture-Agricultural Research Service* (USDA-ARS). SWAT merupakan gabungan dari beberapa model lain yaitu *Simulator for Water Resources in Rural Basin (*SWWRRB*); Chemical, Runoff, and Erosion from Agricultural Management System (*CREAMS*); Groundwater Loading effects on Agricultural Management System (*GLEAMS*); dan Erosion Productivity Impact Calculator (*EPIC*)* (Gassman *et al*, 2007).

Dengan SWAT, memungkinkan untuk diterapkan berbagai analisis serta simulasi dalam suatu DAS. Input data pada tiap sub-DAS dikelompokkan atau disusun dalam beberapa kategori antara lain: iklim, *hydrologic response unit* (HRU),

tubuh air, air tanah dan sungai utama bahkan sampai drainase pada sebuah sub-DAS. *Hydrologic Response Unit* (HRU) pada tiap sub-DAS terdiri dari variasi penutup lahan, jenis tanah dan pengelolaan (Neitsch *et al*, 2011).

Model SWAT berbasis DAS didesain untuk mengatur sumber daya air, sedimen dan limbah kimiawi pertanian dalam suatu DAS. Model SWAT dapat mensimulasikan dalam jangka waktu yang lama, efisien dan dengan komponen yang terdiri dari parameter cuaca, hidrologi, dan tanah (Mulyana, 2012).

Proses yang diperhitungkan pada model SWAT yang terjadi di dalam DAS didasarkan pada neraca air. Komponen hidrologi neraca air yang berlaku pada model SWAT secara matematis adalah sebagai berikut

$$SW_t = SW_0 + \sum_i^t (Rday - Qsurf - Ea - Wsep - Qgw) \qquad (2)$$

Keterangan:

SW_t = kandungan lengas tanah pada akhir waktu t (mm)

SW_0 = kandungan lengas tanah pada awal waktu i (mm)

R_{day} = presipitasi/hujan harian pada waktu/hari i (mm)

Q_{surf} = jumlah limpasan pada waktu/hari (mm)

Ea = jumlah evapotranspirasi pada waktu/hari i (mm)

W_{sep} = jumlah air yang memasuki zona vadose pada profil tanah (perkolasi) pada waktu /hari i (mm)

Q_{gw} = jumlah air (mm)

i =1 dan t = menunjukkan waktu (t hari)

Penggunaan model SWAT dapat mengidentifikasi, menilai dan mengevaluasi tingkat permasalahan suatu DAS. Dengan SWAT pula dapat digunakan sebagai alat untuk mengambil kebijakan pada suatu DAS. Maka dari itu, penggunaan model SWAT dapat digunakan untuk menentukan perencanaan pengelolaan DAS dengan pengembangan dari beberapa skenario (Junaidi *et al*, 2011).

Permodelan DAS dapat dilakukan dengan menggunakan SWAT yang terhubung langsung dengan ArcGIS. SWAT banyak digunakan untuk mengevaluasi dampak perubahan iklim, penggunaan lahan, dan pengelolaan lahan dalam karakteristik hidrologi. Dengan model SWAT, dapat dianalisis perilaku-perilaku hidrologi DAS, salah satunya adalah debit sungai (Arnold *et al*, 2011).

Output dari model SWAT adalah kondisi hidrologi berupa nilai debit, erosi dan sedimen terangkut. 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)* (Hidayat, 2016).

Model debit aliran dapat dilakukan dengan SWAT dan memerlukan data yang relevan dan representatif. Penggunaan model SWAT perlu dilakukan kalibrasi dan validasi dengan ketersediaan data yang ada, agar hasil yang didapat sesuai dengan kondisi asli di lapangan. Proses tersebut perlu dilakukan karena tiap DAS memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Relevansi model dengan keadaan yang sebenarnya dievaluasi dengan menghitung standar deviansi dan efisiensi model (Rau *et al*, 2015).

Simulasi hidrologi DAS dapat diterima apabila telah dikalibrasi dan validasi secara statistik. Dalam kalibrasi model umumnya menggunakan data debit observasi. Kalibrasi dan validasi model menggunakan regresi dan nilai determinasi (R^2) dan *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE). R^2 menggambarkan seberapa jauh hubungan hasil simulasi dengan observasi, sedangkan NSE menggambarkan seberapa jauh hasil pengamatan dan *output* model yang dapat diterima. Kalibrasi dapat dilakukan secara manual maupun otomatis menggunakan SWAT-CUP (Mulyana, 2012).

2.8 SUFI-2 SWAT-CUP

SWAT-CUP merupakan *software* yang digunakan untuk proses kalibrasi model hidrologi SWAT. SWAT-CUP sendiri memiliki empat macam program yaitu

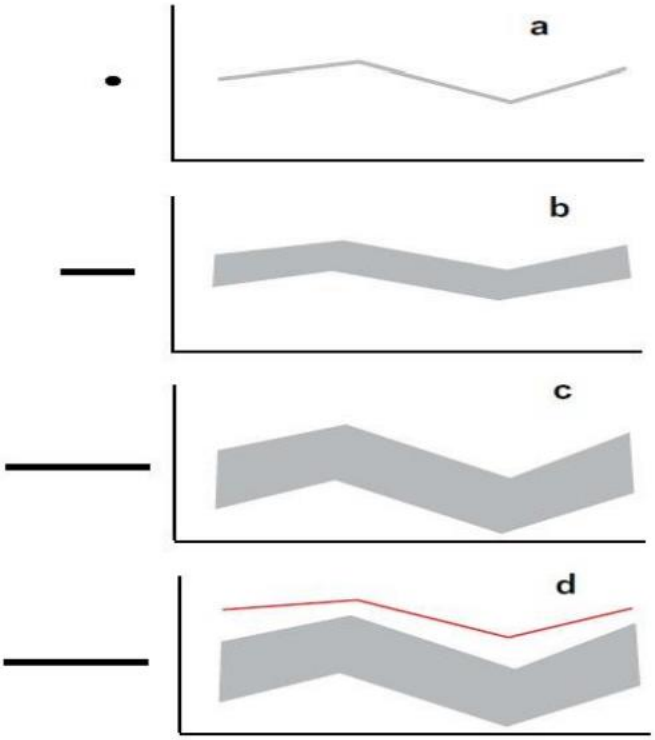
SUFI-2, GLUE, ParaSol, dan MCMC. Aplikasi SWAT-CUP digunakan untuk analisis sensivitas, kalibrasi, validasi dan menganalisis ketidakpastian pada model hidrologi SWAT (Rau, 2015).

SWAT CUP merupakan software yang dikembangkan dari SWAT, karna hal itu, kalibrasi dan analisis ketidakpastian suatu program dapat dengan mudah terhubung ke SWAT. Dari semua program, SUFI-2 paling banyak digunakan karena mengakomodir parameterisasi, analisis sensitifitas, kalibrasi, validasi dan analisis ketidakpastian parameter hidrologi (Abbaspour, 2007).

SWAT-CUP dengan metode SUFI-2 memiliki 3 bagian penting dalam melakukan kalibrasi antara lain *calibration inputs, executable file,* dan *calibration inputs.* Tahap awal dari kalibrasi ada pada *calibration inputs* yaitu tahap memasukkan data. Pada tahap ini terdiri dari *Par_inf.txt* untuk memilih jenis parameter dan jumlah simulasi, *SUFI2_swEdit.def, File.Cio* dan *Absolute_SWAT_Values.txt*, serta menu input data *Observation, Extraction, Objective Function* dan *No Observation*. Menu *executable file* merupakan bagian yang menjalankan proses kalibrasi, terdiri dari proses *SUFI2_pre.bat, SUFI2_run.bat, SUFI2_post.bat.* kemudian *calibration output* menampilkan hasil dari kalibrasi. Nilai R^2 dan NSE dapat dilihat pada *summary_stat.txt* (Pratiwi, 2020).

Pada SUFI-2 kepastian dari *input* parameter digambarkan memiliki distribusi yang seragam. Ketidakpastian nilai *output* dikalibrasikan dengan menggunakan metode 95%PPU (*Prediction Uncertainity*). 95PPU dihitung pada level 2,5% sampai dengan 97,5% dari distribusi variabel *output*. Penjelasan konsep analisiis ketidakpastian SUFI-2 dijelaskan oleh grafik pada Gambar 1. Gambar mengilustrasikan bahwa nilai *input* parameter tunggal yang digambarkan dengan titik hitam, memberi pengaruh tunggal pada model hidrologi yang digambarkan dengan garis abu-abu (Gambar 1a), peningkatan ketidakpastian pada nilai dan jumlah parameter *input* yang digambarkan dengan garis hitam, mempengaruhi nilai luaran hasil 95PPU yang diilustrasikan dengan luasan wilayah abu-abu (Gambar 1b). ketidakpastian parameter *input* meningkat diwakili oleh garis hitam yang bertambah panjang (Gambar 1c) maka meningkat pula ketidakpastian pada output yang dihasilkan 95PPU yang memiliki luasan garis abu-abu yang semakin

besar. Perpotongan data observasi sepanjang luasan 95PPU menunjukkan bahwa range nilai parameter masukan kalibrasi sudah valid. Jika pada situasi seperti Gambar 1d terjadi, maka perlu merubah nilai rentang parameter masukan (Arifianto, 2011).



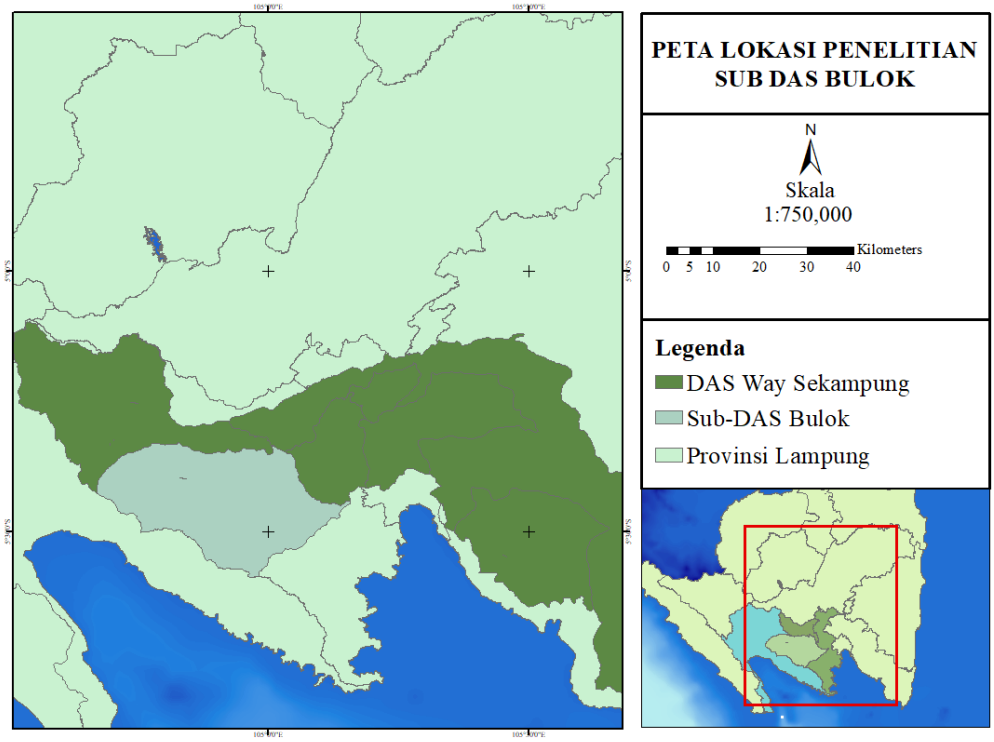
Gambar 1. Ilustrasi Hubungan Ketidakpastian Parameter Masukan Dengan Hasil Prediksi

Sumber : Arifianto, 2011.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2022-Mei 2022 di Laboratorium Rekayasa Sumber Daya Air (RSDAL) Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil satu dari Sub-DAS Way Sekampung yaitu Sub-DAS Bulok yang secara geografis terletak pada pada 5°20'–5°35' LS dan 104°40'–105°10' BT dan secara administratif terletak di Kabupaten Pringsewu, Kabupaten Pesawaran dan Kabupaten Tanggamus.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

a. Laptop dengan kapasitas RAM 8 GB dan Processor Core i7
b. *Software* yang meliputi *Microsoft Office,* ArcGIS 10.3, SWAT 2012 dan SWAT-CUP.

Bahan yang digunakan merupakan data sekunder yang didapatkan dari instansi terkait. Data sekunder terdiri dari data spasial dan non spasial yang digunakan antara lain:

Tabel 1. Data yang Digunakan dalam Penelitian

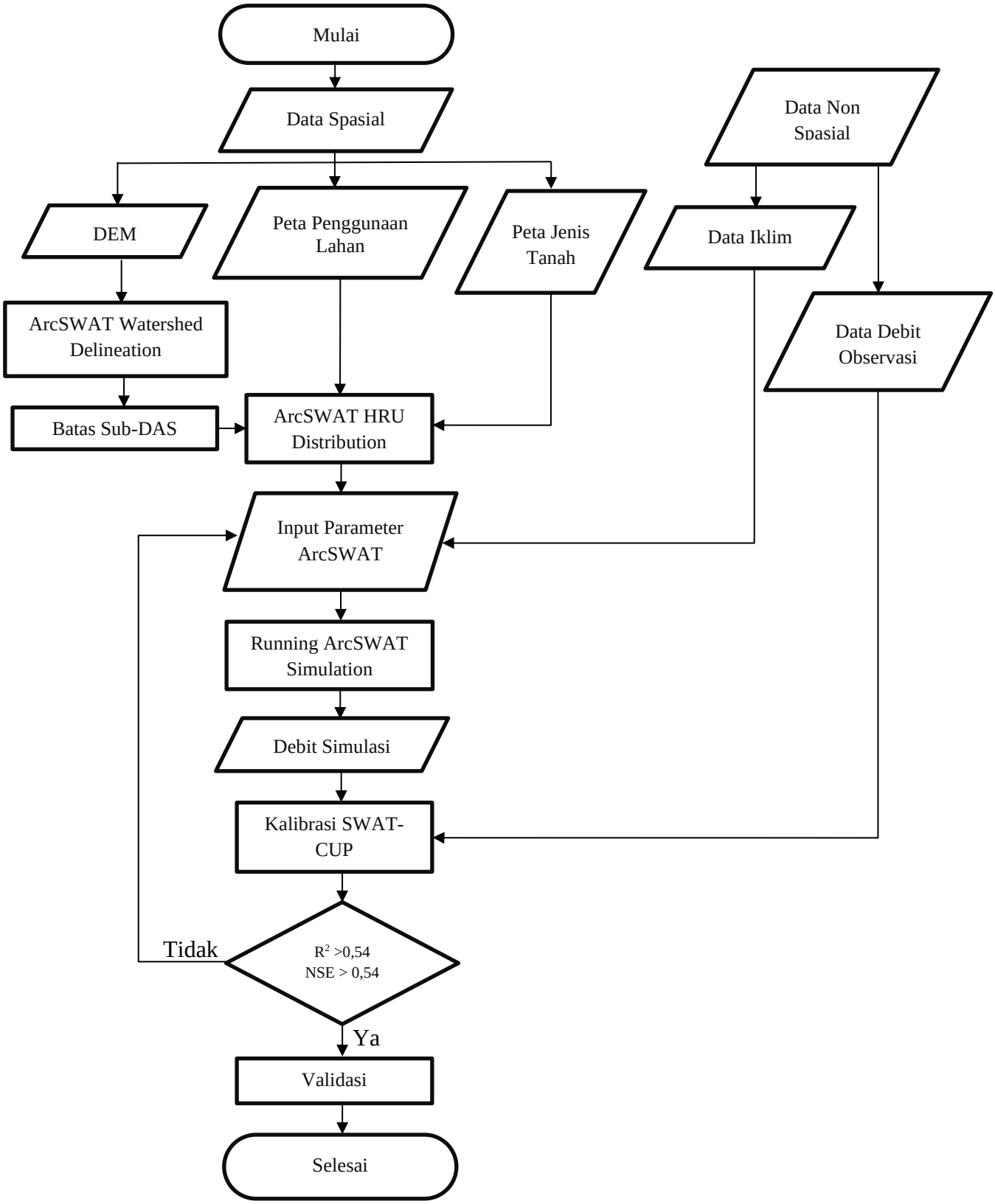
No	Jenis Data	Jenis Data
1.	DEM Provinsi Lampung	Data Spasial
2.	Peta Penggunaan Lahan	
3.	Peta Jenis Tanah	
4.	Data Iklim	Data Non Spasial
5.	Data Debit Sungai DAS Bulok	

3.3 Tahapan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan, tahapan penelitian ini dilakukan mengikuti dengan diagram alir pada Gambar 3. Tahapan penelitian yang dilakukan antara lain :

3.3.1. Persiapan

Pada tahapan ini yang dilakukan adalah melakukan studi literatur yang berkaitan dengan rencana penelitian yang dilakukan, materi pembelajaran adalah tentang DAS, debit, penggunaan lahan dan *software* SWAT. Selain itu juga menyiapkan alat yang akan digunakan yaitu laptop dengan kapasitas RAM 8 GB dengan Processor Core i7 yang dilengkapi dengan *software Microsoft Office, ArcGIS 10.3* SWAT 2012 dan SWAT CUP.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Sumber : Modifikasi dari Amin, 2015.

3.3.2 Pengumpulan Data

Tahap awal yang dilakukan yaitu mengumpulkan data berupa data sekunder yang nantinya digunakan untuk kebutuhan penelitian. Data sekunder berupa data spasial dan non spasial didapatkan dari instansi terkait. Pengumpulan data yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

3.3.3 Analisis SWAT

Analisis hasil penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan antara lain seperti input data, simulasi, kalibrasi dan validasi. Model hidrologi yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan *software* SWAT yang merupakan ekstensi tambahan dari *software ArcGIS 10.3.* Tahapan pada analisis SWAT yang ditampilkan dalam Gambar 3 dijelaskan sebagai berikut:

1. Database model hidrologi SWAT

Data yang disiapkan antara lain data spasial meliputi DEM, peta penggunaan lahan, dan peta jenis tanah serta data iklim dan data debit observasi yang didapatkan dari BBWS Mesuji-Sekampung.

2. Deliniasi DAS

Data spasial berupa DEM (*Digital Elevation Model)* digunakan untuk Deliniasi DAS dalam menu ArcSWAT *Watershed Delineation*. Deliniasi DAS merupakan proses penentuan sebuah area yang berperan dalam mengalirkan curah hujan (*input*) menjadi aliran permukaan pada suatu titik luaran (*outlet*). Data yang digunakan pada penelitian ini adalah DEM Provinsi Lampung dengan resolusi 30 meter dan peta jaringan sungai. Daerah observasi akan dilakukan deliniasi berdasarkan batas topografi alami DAS. *Output* dari deliniasi DAS adalah batas-batas DAS dan jaringan sungai.

3. ArcSWAT HRU *Distribution*

Proses yang terjadi pada tahapan ini antara lain adalah proses *overlapping* peta penggunaan lahan, peta jenis tanah dan peta kelerengan terhadap batas DAS yang telah didapatkan pada proses deliniasi. Tahapan dalam proses *overlay* terdiri dari beberapa tahapan antara lain:

a. Menentukan jenis penggunaan lahan, dilakukan dengan *overlay* peta penggunaan lahan terhadap batas DAS. Kemudian dilakukan penentuan klasifikasi penggunaan lahan yang berdasarkan dengan jenis penggunaan *crop* ataupun *urban.*
b. Menentukan jenis tanah, dilakukan dengan *overlay* peta jenis tanah terhadap batas DAS. Selanjutnya dilakukan klasifikasi penentuan jenis tanah.
c. Menentukan kelas lereng, klasifikasi kelas kemiringan lereng yang digunakan dalam pemilihan HRU dibagi menjadi 5 kelas berdasarkan data DEM, yaitu 0-3%, 3-8%, 8-15%, 15-25% dan >25%.
d. O*verlay* peta penggunaan lahan, peta jenis tanah dan lereng. Proses ini dilakukan untuk mengetahui distribusi spasial parameter untuk menganalisis HRU (*Hydrologic Response Unit*).

HRU menggambarkan pengaruh suatu wilayah terhadap faktor hidrologi yang terjadi di wilayah tersebut berdasarkan jenis tanah, penggunaan lahan dan kemiringan lereng. *Threshold* yang dibatasi untuk presentase total luasan yang digunakan untuk *landuse* (20%), jenis tanah (20%), dan kemiringan lereng (20%). Nilai *threshold* dapat menentukan jumlah jaringan sungai yang terbentuk. Makin besar nilai *threshold* yang dimasukkan, makin kecil jaringan sungai yang terbentuk dan begitu pula sebaliknya. *Output* dari pembentukan HRU adalah informasi tentang sebaran jenis penggunaan lahan, jenis tanah, kemiringan lereng, dan luas HRU.

4. Input Parameter ArcSWAT

Tahap ini dilakukan pemasukkan data yaitu parameter DAS yang dapat diperbaiki sebelum proses *running simulation.* Data yang dapat diperbaiki antara lain *sub basin*, dan *weather generator*. Pada *weather geneator* menggunakan data iklim. Data iklim yang dapat dimasukkan antara lain meliputi curah hujan, suhu, kelembaban relatif, kecepatan angin dan radiasi matahari. Sebelum data iklim dimasukkan ke dalam SWAT, data iklim harus diolah dahulu menggunakan SWAT *Weather Generator*. *Output* dari *weather generator* ini adalah SWAT

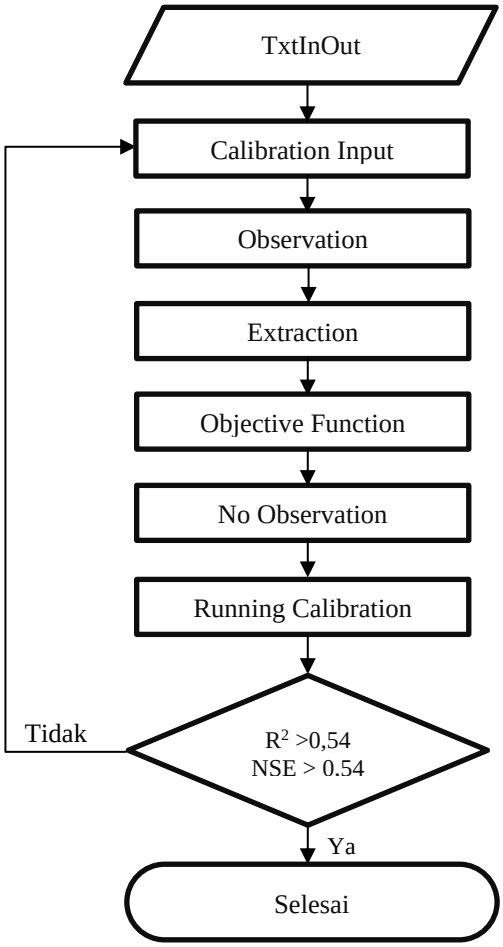
WGEN *Statistic* yang kemudian akan dimasukkan ke dalam WGEN_user pada ArcSWAT.

5. *Running* ArcSWAT *Simulation*

Simulasi SWAT dilakukan dengan memilih waktu yang akan disimulasikan pada mode *Run SWAT*. Penyimpanan data output hasil simulasi dilakukan dengan memilih *Read SWAT Output.* Proses simulasi menggunakan data data iklim pada tahun 2010-2015. Keluaran dari proses ini adalah debit hasil simulasi.

3.3.4 Kalibrasi Hasil Model SWAT

Kalibrasi adalah proses perbandingan hasil simulasi model SWAT dengan data hasil observasi. Data debit yang dihasilkan dari simulasi kemudian digunakan untuk melakukan kalibrasi model. Hasil kalibrasi berupa nilai parameter yang dipilih (*fitted value*). Kalibrasi dilakukan menggunakan aplikasi SWAT-CUP.



Gambar 4. Diagram Alir Kalibrasi SWAT-CUP

Kalibrasi dilakukan dengan memperhitungkan parameter hidrologi yang cocok untuk Sub-DAS Bulok (Arnold *et al*, 2012). Kalibrasi hasil model SWAT menggunakan metode SUFI-2. Dengan menggunakan SUFI-2 memungkinkan pengguna untuk memilih parameter yang sensitif terhadap hasil keluaran model. Hal ini dikarenakan karena masing-masing DAS memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Penggunaan SUFI-2 Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan data penggunaan lahan tahun 2017, data iklim tahun 2016-2018 serta data debit observasi pada tahun 2016-2018. Tahapan kalibrasi pada SWAT-CUP disajikan pada diagram alir pada Gambar 4.

Tahapan kalibrasi menggunakan SWAT-CUP dijelaskan sebagai berikut :

1. Memilih TxtInOut dari model SWAT yang akan di kalibrasi. TxtInOut berisi hasil dari simulasi SWAT yang memuat berbagai informasi salah satunya debit simulasi.
2. Pada *calibration input*, ditentukan rentang nilai minimum dan maksimum tiap parameter masukan sehingga didapatkan nilai parameter terbaik atau *fitted value*, serta menentukan jumlah simulasi untuk tiap iterasi. Dalam input model SWAT terdapat banyak sekali parameter yang dapat digunakan, namun karena terjadi keterbatasan, maka dipilih parameter yang paling dominan sehingga dapat mendapatkan hasil yang mendekati kondisi yang sebenarnya.
3. Pada sub menu *observation* dimasukkan data observasi dan banyaknya data observasi untuk dibandingkan dengan debit simulasi.
4. Sub menu *extraction* merupakan sub menu untuk menentukan file yang di ekstrak dan menentukan sub basin, HRU dan tahun yang dikalibrasi.
5. Sub menu *objective function* merupakan sub menu yang menentukan fungsi objektif yang digunakan, pada penelitian ini adalah R^2 dan NSE.
6. Pada *no observation*, kita tentukan jumlah dan nomor sub basin serta jumlah dan nomor HRU yang dikalibrasi, selain itu dimasukkan juga jumlah HRU dan jumlah Sub Basin yang terbentuk dari analisis SWAT yang telah dilakukan sebelumnya.

7. *Running calibration*, hasil keluaran dari kalibrasi akan ditampilkan pada *calibration output.*

Nilai kalibrasi model dilakukan dengan cara *trial and error* untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Nilai terbaik ini dilihat dari angka NSE dan R^2. Nilai NSE atau *Nash-Sutcliffe efficiency* didefinisikan sebagai *objective function* tujuan optimasi (Latifah, 2013). Kriteria NSE adalah sebagaimana ditampilkan di Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria NSE

Kriteria	NSE
Sangat Memuaskan	NSE ≥ 0,75
Memuaskan	0,54 < NSE < 0,75
Cukup	NSE ≤ 0,5

Sumber : Ridwan, (2014)

Cara menentukan nilai NSE ini dengan menggunakan persamaan:

$$\text{NSE} = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(Qm-Qs)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Qm-\bar{Q}m)^2}\right]$$

Selain itu, untuk melihat keakuratan pola hasil *output* model dengan hasil observasi lapangan digunakan koefisien deterministik atau persamaan linear R^2. Nilai R^2 digunakan untuk menunjukkan tingkat kesesuaian antara debit terukur dan terhitung. Nilai R^2 ditentukan menggunakan persamaan:

$$R^2 = \frac{\left[\Sigma(Q_{m,i}-\bar{Q}_m)(Q_{s,i}-\bar{Q}_s)\right]^2}{\Sigma(Q_{m,i}-\bar{Q}_m)^2\ \Sigma(Q_{s,i}-\bar{Q}_s)^2}$$

Keterangan

Qm : debit observasi (m^3/dt)

Qs : debit hasil simulasi (m^3/dt)

$\bar{Q}$m : debit rata-rata hasil observasi (m^3/dt)

$\bar{Q}$s : debit rata-rata hasil simulasi (m^3/dt)

3.3.5 Validasi Hasil Model SWAT

Proses validasi merupakan proses evaluasi terhadap model hidrologi untuk mendapatkan deskripsi tentang tingkat ketidakpastian yang dimiliki oleh suatu model dalam memprediksi suatu proses hidrologi (Indarto, 2012). Validasi merupakan uji ketepatan nilai parameter yang dipilih pada hasil kalibrasi. Kegiatan validasi biasanya dilakukan di luar periode data yang digunakan untuk kalibrasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah model telah konsisten atau dapat digunakan di luar tahun yang telah dikalibrasi.

Proses validasi dilakukan dengan menguji nilai R^2 dan Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE). Dalam penelitian ini nilai R^2 yang digunakan adalah yang bernilai ≥ 0.54. Model Efisiensi merupakan sebuah model statistik yang digunakan untuk menunjukkan besar nilai pengaruh hubungan antara data simulasi dengan data observasi. Nilai NSE berkisar dari 0 sampai dengan 1. Nilai NSE mendekati 1 menunjukkan bahwa performa suatu model baik. Model statistik NSE ini paling banyak digunakan untuk menunjukkan performa suatu model karena dapat memberikan informasi yang lebih akurat mengenai nilai yang diberikan.

Validasi dilakukan dengan memasukkan nilai *fitted value* parameter yang dihasilkan pada proses kalibrasi untuk memastikan bahwa hasil kalibrasi dapat valid untuk digunakan. Data validasi pada penelitian ini menggunakan data debit observasi dan simulasi dari tahun 2019-2021.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Besar rata-rata debit observasi sub-DAS Bulok pada tahun 2016-2018 yaitu 15,83 m^3/detik dengan debit simulasi yang telah dikalibrasi sebesar 16,64 m^3/detik, sedangkan untuk debit observasi rata-rata pada tahun 2019-2021 sebesar 13.2 m^3/detik serta 17,56 m^3/detik untuk debit simulasi setelah divalidasi.
2. Parameter model yang mempengaruhi debit sungai di sub-DAS Bulok yaitu faktor aliran air tanah (ALPHA_BF) senilai 0.415, koefisien kehilangan air tanah (GW_REVAP) senilai 0.1775, faktor evaporasi permukaan tanah (ESCO) senilai 0.525 , faktor transpirasi tanaman (EPCO) senilai 0.995, konduktivitas hidrolik saluran sungai (CH_K2) senilai 207.505, koefisien jeda aliran permukaan (SURLAG) senilai 15.73, kapasitas tanah menahan air (SOL_AWC) senilai 0.825, konstanta Manning's sungai (CH_N2) senilai 0.252, dan konstanta Manning's permukaan tanah (OV_N) sebesar 25.351.
3. Dari hasil kalibrasi dan validasi debit sungai menggunakan SWAT-CUP menunjukkan bahwa model SWAT diperoleh nilai kepercayaan R^2 sebesar 0,78 dan NSE sebesar 0,55 dari proses kalibrasi periode tahun 2016-2018 dan R^2 0,89 dan NSE 0,64 dari proses validasi periode tahun 2019-2021. Dengan nilai tersebut menunjukkan bahwa model SWAT dapat memprediksi debit sungai DAS Bulok dengan nilai memuaskan.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian simulasi perubahan penggunaan lahan yang rasional menggunakan model SWAT terhadap kondisi hidrologis DAS.

DAFTAR PUSTAKA

Abbaspour, K.C., Vejdani, M., Haghighat, S. 2007. *SWAT-CUP Calibration and Uncertainty Programs for SWAT; Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand*. New Zealand.

Akhtar, F., Borgemeister, C., Tischbein, B., Awan, K.U. 2022. *Metrics Assessment and Streamflow Modeling under Changing Climate in a Data-Scarce Heterogeneous Region: A Case Study of the Kabul River Basin.* Water. 14:1697.

Amin, M. 2015. *Simulasi Tata Guna Lahan untuk Pengelolaan DAS Garang Jawa Tengah.* (Disertasi). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Arnold J.G., Moriasi D.N., Gassman P.W., Abbaspour K.C., White M.J., Srinivasan R, Santhi C, Harmel R.D., Griensven A.V., Liew M.W.V., Kannan N, Jha M.K. 2012. *SWAT: Model Use, Calibration, and Validation. American Society of Agricultural and Biological Engineers.* ISSN 2151-0032.

Arifianto, Hafid. 2011. *Kalibrasi Dan Validasi Model Mw-Swat Pada Analisis Debit Aliran Sungai Sub DAS Ciliwung Hulu.* (Skripsi). Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Arifin, B., Yuwono, B.S., Ismono, H. 2018. *Pengendalian Risiko Lingkungan di DAS Sekampung, Lampung.* Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Arsyad, S. 2010. *Konservasi Tanah & Air*. IPB Press. Bogor.

Asdak C. 2010. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. UGM Press. Yogyakarta.

Budiawan, S.S. 2012. *Pendugaan Debit Puncak Menggunakan Model Rasional dan SCS-CN (Soil Conservation Service-Curve Number)*. (Skripsi). Departemen Manajemen Hutan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, C.H., Arnold, J.G. 2007. *The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development Applications, And Future Research Directions.* American Society of Agricultural and Biological Engineers. 50(4): 1211-1250.

Hamdan, M. 2010. *Analisis Debit Aliran Sungai Sub-DAS Ciliwung Hulu Menggunakan MW-SWAT.* (Skripsi). Departemen Teknik Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Hidayat, L., Sudira, P., Susanto, S., Jayadi, R. 2016. *Validasi Model Hidrologi SWAT di daerah Tangkapan Air Waduk Mrica*. Jurnal Agritech. 36: 467-474.

Indarto. 2012. *Hidrologi: Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Bumi Aksara. Jakarta.

Jha, M.K., Schilling, K.E., Gassman, P.W., Wolter, C.F. 2010. *Targeting Land Use Change for Nitrate-Nitrogen Load Reductions in an Agricultural Watershed*. Journal of Soil and Water Conservation. 65(6): 342-352.

Junaidi, E., Tarigan, S.D. 2011. *Penggunaan Model Hidrologi SWAT (Soil and Water Assessment Tool) dalam Pengelolaan DAS Cisadane.* Balai Penelitian Kehutanan Ciamis. Bogor.

Latifah, I. 2013. *Analisis Ketersediaan Air, Sedimentasi, dan Karbon Organik dengan Model SWAT Di Hulu DAS Jeneberang, Sulawesi Selatan.* (Tesis). Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Manik, S.K.E. 2012. *Konservasi Tanah (Pengelolaan DAS Dan Konservasi Tanah Sebagai Basis Pembangunan Berkelanjutan*. Lembaga Penelitian Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Muchtar A., Abdullah N. 2007. *Analisis Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Debit Sungai Mamasa*. Jurnal Hutan dan Masyarakat. 2(1): 174-187.

Mulyana, N. 2012. *Analisis Luas Tutupan Hutan terhadap Ketersediaan Green Water dan Blue Water di Sub DAS Gumbasa dan Sub DAS Cisadane Hulu*

dengan Aplikasi Model SWAT. (Disertasi). Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., dan William, J.R. 2011. *Soil and water Assessmen Tool Teoretical Documentation.* Agriculture Research Service and Texas Agriculture Experiment Station. Texas.

Oswald, P, Astrini, R. 2012. *Modul Pelatihan Quantum GIS Tingkat Dasar: untuk Pemetaan Evakuasi Tsunami.* Mataram: GIZ-Decentralization as Contribution to Good Governance. BAPPEDA.

Paimin, P., Purwanto, I. B., Indrawati, D. R. 2012. *Sistem Perencanaan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai.* Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi (P3KR). Bogor.

Peraturan Pemerintah, 2012. Lampiran Peraturan Pemerintah nomor 37 tahun 2012. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. Jakarta.

Pratama, W. 2017 *Analisis Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Karakteristik Hidrologi di DAS Bulok.* (Skripsi). Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Pratiwi, R.F. 2020. *Analisis Hubungan Penggunaan Lahan dan Rasio Debit di DAS Sekampung Hulu dengan Menggunakan Model SWAT dan Regresi Linier Berganda.* (Skripsi). Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Rau, M.I., Pandjaitan, N., Sapei, A. 2015. *Analisis Debit Sungai dengan Menggunakan Model SWAT pada DAS Cipasauran Banten.* Jurnal Keteknikan Pertanian. 3(2): 113-120.

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

Rifa'I, M.A. 2017. *Analisis Debit Banjir Di DAS Way Sekampung, Provinsi Lampung Dengan Pemodelan SWAT*. (Skripsi). Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor.

Riswulan, Y.F., Banuwa, I.S., Damai, A.A., Suroso, E. 2021. *Kajian Dampak Kerusakan Sub Daerah Aliran Sungai Bulok terhadap Karakteristik Hidrologi.* Journal of Sustainable Development Research. 1(1): 46-57.

Santhi, R. Srinivasan, J. G. Arnold and J. R. Williams. 2006. *A Modeling Approach to Evaluate the Impacts of Water Quality Management Plans Implemented in a Watershed in Texas.* Environmental Modelling & Software. 21(8): 1141-1157.

Sarminingsih, A. 2007. *Evaluasi Kekritisan Lahan Daerah Aliran Sungai dan Mendesaknya Langkah-Langkah Konservasi Air*. Jurnal Presipitasi. 2(1): 170—187.

Sunandar. A. D., Suhendang, E., Hendrayanto, Jaya, S., Marimin. 2016. *Dampak Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Respon Hidrologis di DAS Asahan.* Jurnal Penelitian Hutan Tanaman. 12(1): 49-60.

Tanika, L., Rahayu, S., Khasanah, N., & Dewi, S. 2016. *Fungsi Hidrologi Pada Daerah Aliran Sungai.* Icraf. Bogor.

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.

Yanti, N.R., Rusnam, Ekaputra, E.G. *Analisis Debit pada DAS Air Dingin menggunakan Model SWAT.* Jurnal Teknologi Pertanian Andalas. 21(2).

Yustika, R.D. 2013. *Pengelolaan Lahan Terbaik Hasil Simulasi Model SWAT untuk Mengurangi Aliran Permukaan di Sub DAS Ciliwung Hulu.* (Tesis). Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Zahara, Betria. 2015. *Analisis Debit Sungai dengan Model SWAT di DAS Batanghari Hilir Provinsi Jambi.* (Skripsi). Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.