

DETEKSI BANJIR PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI SERAYU MENGGUNAKAN MODEL HIDROLOGI SWAT (*SOIL WATER ASSESSMENT TOOL*) BERDASARKAN DATA CURAH HUJAN SATELIT PERSIANN

FLOOD DETECTION IN THE SERAYU WATERSHED USING THE SWAT HYDROLOGICAL MODEL BASED ON PERSIANN SATELLITE RAINFALL DATA

Bintang Aqshal Danendra Indrastata*¹, Suroso², dan Ardiansyah³

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jenderal Soedirman

²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jenderal Soedirman

³Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman

ABSTRAK

Banjir menimbulkan ancaman besar bagi masyarakat yang masih tinggal di daerah aliran sungai, sehingga memerlukan strategi deteksi dan mitigasi yang efektif. Penelitian ini berfokus pada deteksi banjir di DAS Serayu dengan menggunakan pendekatan terpadu yang menggabungkan model hidrologi Soil and Water Assessment Tool (SWAT) dengan data curah hujan satelit PERSIANN. Pemanfaatan data curah hujan yang diperoleh dari satelit menawarkan peningkatan resolusi spasial dan temporal, sehingga meningkatkan akurasi sistem deteksi banjir. Melalui penerapan model SWAT, studi ini memfasilitasi analisis komprehensif proses hidrologi di dalam DAS, sehingga memungkinkan identifikasi wilayah rawan banjir dan penilaian potensi dampak banjir. Dengan mengintegrasikan teknologi canggih dan teknik pemodelan yang sudah ada, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan strategi pengelolaan banjir yang kuat dan disesuaikan dengan konteks DAS Serayu. Temuan penelitian ini memberikan wawasan berharga bagi para pengambil keputusan dan pemangku kepentingan yang terlibat dalam upaya kesiapsiagaan dan tanggap bencana, yang pada akhirnya meningkatkan ketahanan masyarakat yang rentan terhadap bahaya banjir.

Kata kunci: Deteksi Banjir, Model Hidrologi SWAT, Data Curah Hujan Satelit PERSIANN, Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Kesiapsiagaan Bencana

1. PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai Serayu adalah salah satu wilayah hidrologis yang memiliki banyak peran penting dalam kehidupan. Secara ekonomi, Sungai Serayu menjadi sumber daya utama bagi masyarakat sekitarnya. Sungai serayu digunakan oleh petani sebagai salah satu sumber pengairan bagi pertanian. Bagi nelayan, Sungai Serayu merupakan tempat utama untuk mendapatkan ikan. Pariwisata pada Sungai Serayu juga dimanfaatkan oleh masyarakat lokal untuk menarik wisatawan dari luar daerah. Secara sosial, wilayah Daerah Aliran Sungai Serayu memiliki peran dalam memperkuat identitas budaya dan kehidupan masyarakat lokal. Sungai Serayu memberikan inspirasi bagi seni, musik, dan tradisi lokal lainnya.

Daerah Aliran Sungai Serayu memiliki luas sebesar 3.660 km². Daerah Aliran Sungai Serayu melintasi sebagian besar wilayah Provinsi Jawa Tengah Bagian Selatan. Beberapa kabupaten yang dilintasi oleh DAS Serayu adalah Kabupaten Cilacap, Banyumas, Purbalingga, Banjarnegara dan Wonosobo (Purnama, 2010). Wilayah ini meliputi berbagai karakteristik topografi, mulai dari dataran rendah hingga dataran tinggi. Sepanjang Daerah Aliran Sungai Serayu terdapat berbagai lingkungan yang memiliki pemandangan alam yang indah. Hutan dan bukit sepanjang Sungai Serayu menjadi pemandangan utama yang menghiasi aliran Sungai Serayu. Wilayah aliran Sungai Serayu juga menyimpan keanekaragaman hayati dengan berbagai jenis hewan dan tumbuhan yang hidup di sekitar Sungai Serayu.

Salah satu fenomena alam yang biasa terjadi pada sungai-sungai di Indonesia. Terjadinya banjir tidak memandang daerah baik perkotaan maupun pedesaan (Irawan and Zulkifli Mulki, 2016). Daerah Aliran Sungai Serayu merupakan salah satu daerah yang rentan terhadap bencana banjir. Perubahan tata guna lahan yang tidak terkendali menyebabkan berkurangnya daerah resapan air sehingga dapat menyebabkan banjir (Hernanda *et al.*, 2016). Peningkatan jumlah penduduk di sekitar Daerah Aliran Sungai Serayu menjadi faktor utama terjadinya peningkatan risiko banjir. Pertambahan jumlah penduduk di sekitar Sungai Serayu membuat berubahnya tata guna lahan disekitar. Kebutuhan akan perumahan, jalan raya, dan infrastruktur lainnya membuat tata guna lahan berubah. Berkurangnya area hutan dan sawah pada daerah sekitar Sungai Serayu menimbulkan kurangnya peresapan air hujan. Contoh nyata pada Daerah Aliran Sungai Serayu yang mengalami banjir terdapat pada kawasan Dieng. Degradasi lahan dan erosi sekitar 161 ton/ha/tahun merupakan kerusakan yang dialami pada Kawasan Dieng. Hal itu membuat sedimentasi di Waduk Jenderal Soedirman yang bisa menyebabkan krisis energi (Jariyah and Pramono, 2013). Banjir pada Daerah

Aliran Sungai Serayu menimbulkan kerugian harta benda hingga korban jiwa. Kerusakan ekosistem di sekitar Sungai Serayu tidak bisa dihindarkan.

Deteksi banjir di Daerah Aliran Sungai Serayu merupakan aspek yang penting dalam upaya mitigasi bencana dan manajemen banjir. Perlunya kesiapan masyarakat yang tinggal di sekitar Sungai Serayu ketika terjadi banjir akan meminimalisir dampak kerugian akibat banjir. Salah satu upaya yang digunakan untuk mendeteksi banjir yaitu dengan inovasi teknologi. Informasi deteksi air yang meningkat perlu diketahui oleh masyarakat agar mereka bisa siap setiap saat akan terjadi banjir. Tujuan dari sistem tersebut yaitu untuk memberikan peringatan lebih awal kepada masyarakat agar bisa mengetahui potensi banjir yang akan terjadi (Windiastik, Ardhana and Triono, 2019). Penggunaan sensor hidrologi menjadi salah satu hal penting dalam deteksi banjir pada Daerah Aliran Sungai Serayu. Sensor hidrologi yang terpasang di sepanjang Sungai Serayu dapat memberikan data secara langsung mengenai tingkat air, debit air, dan kondisi hidrologi lainnya yang bisa digunakan sebagai pendeteksi akan adanya banjir.

Perlu dilakukan deteksi banjir pada Daerah Aliran Sungai Serayu dengan menggunakan Model SWAT. SWAT (Soil and Water Assessment Tool) merupakan sebuah model skala wilayah sungai atau daerah aliran sungai yang dikembangkan oleh Dr. Jeff Arnold. SWAT dikembangkan untuk memprediksi dampak dari pengelolaan lahan terhadap air, sedimen, dan hasil bahan kimia pertanian di daerah aliran sungai besar dan kompleks dengan kondisi tanah, penggunaan lahan, dan pengelolaan yang bervariasi dalam jangka waktu yang lama (Neitsch *et al.*, 2005).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Daerah aliran sungai serayu

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu daerah yang dibatasi oleh struktur topografi pemisah air yang terkeringkan oleh sungai atau sistem yang saling terhubung sehingga semua aliran yang terdapat di dalamnya akan mengalir keluar melalui satu saluran tunggal dari area tersebut (Sudaryono, 2002) Sungai serayu merupakan salah satu sungai yang berada di Provinsi Jawa Tengah. Sungai Serayu melintasi lima (5) kabupaten yang ada di Jawa Tengah, yaitu : Kabupaten Wonosobo, Banjarnegara, Purbalingga, Banyumas dan Cilacap. Hulu Sungai Serayu berada di wilayah Dieng dan mengalir menuju hilir yang berada di Samudra Hindia sepanjang 181 km. Sungai Serayu merupakan aliran utama pada Daerah Aliran Sungai Serayu yang memiliki luas sebesar 3.660 km². Daerah Aliran Sungai Serayu diatur dan dikelola oleh Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Serayu Opak Progo.

Banjir

Banjir merupakan salah satu masalah umum yang terdapat di Indonesia ketika terjadinya musim penghujan. Menurut Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Jawa Timur menjelaskan banjir merupakan suatu peristiwa meluapnya air hingga ke daratan yang biasanya kering dikarenakan curah hujan yang tinggi, salju yang meleleh, atau masalah lain sehingga air tidak dapat diserap sempurna oleh tanah atau tidak dapat dialirkan melalui saluran yang ada.

Sistem informasi geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan salah satu sistem yang berkembang pesat dalam lima (5) tahun ini. Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah suatu sistem informasi dengan basis komputer yang bisa difungsikan sebagai penyimpanan, pengelola, dan analisis data bereferensi geografis. Sistem Informasi Geografis (SIG) memungkinkan melakukan integrasi informasi spasial seperti peta, satelit, dan data geografis lainnya. Sistem Informasi Geografis (SIG) memberikan kemudahan untuk pengguna dalam menentukan kebijakan yang berkaitan dengan geografis. Penataan dan pemetaan lahan akan dipermudah dengan adanya teknologi ini (Wibowo, Kenedi and Jumadi, 2015)

Model hidrologi

Model Hidrologi merupakan suatu gambaran Daerah Aliran Sungai (DAS) sederhana yang digunakan untuk memprediksi suatu kejadian hidrologi yang kemungkinan akan terjadi (Marlina and Andayani, 2018). Kemampuan model Hidrologi bervariasi, mulai dari perhitungan debit limpasan permukaan, aliran air tanah, hidrograf debit sungai, hingga erosi permukaan. Model Hidrologi DAS merupakan model inti dari seluruh model tersebut. Model ini mempunyai fungsi untuk menghitung debit sungai akibat adanya hujan (Kustamar and Yulianti, 2009).

a. Model Stokastik

Model Stokastik adalah representasi matematika yang dapat menerima berbagai variabel, diantaranya variabel acak yang memiliki distribusi acak. Model ini sering digunakan untuk mengevaluasi karakteristik statistik fisik output dari suatu sistem yang dipengaruhi oleh urutan peristiwa seiring waktu dan menghasilkan serangkaian data dalam jangka panjang dengan sifat yang serupa. Data tersebut dapat dianalisis untuk mendapatkan gambaran tentang kemungkinan urutan peristiwa di masa depan, seperti harapan frekuensi debit air (Harsoyo, 2010)

b. Model Probabilitas

Dalam model probabilitas, gagasan tentang frekuensi dan probabilitas memiliki peran yang signifikan, sama halnya dengan yang terjadi dalam model stokastik. Namun, dalam model ini, urutan kejadian tidak dipertimbangkan. Sebagai contoh, kejadian dianggap tidak tergantung pada waktu dan perkiraan dilakukan terhadap kejadian paling ekstrim berdasarkan karakteristik dari data yang ada dalam populasi (Harsoyo, 2010)

c. Model Konseptual

Model Konseptual merupakan hasil dari keadaan yang lebih sederhana terhadap kondisi nyata, seperti penyederhanaan proses dalam Daerah Aliran Sungai (DAS). Pendekatan yang digunakan dalam model ini meliputi: (1) pendekatan model rasional, (2) pendekatan linear dan non-linear terhadap reservoir, dan (3) kombinasi dari model rasional dan pendekatan reservoir (Harsoyo, 2010)

d. Model Parametrik

Umumnya, model parametrik digunakan untuk menghasilkan ekspresi matematis yang menunjukkan fungsi dari Daerah Aliran Sungai (DAS) yang akan diubah menjadi model input dan output (black box models). Selanjutnya, model tersebut menjadi lebih kompleks ketika parameter-parameter penting DAS ditambahkan, yang kemudian menyebabkan variasi respon yang berbeda dari DAS lainnya dengan input yang sama. Model parametrik membantu dalam memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang mekanisme kerja sistem tersebut (Harsoyo, 2010)

e. Model Deterministik

Model Deterministik adalah representasi matematika yang hanya menerima variabel yang bebas dari variasi acak. Model ini berdasarkan struktur asli dari sistem dan prinsip fisika yang mengatur perilaku sistem tersebut. Terkait dengan variabel dan parameter input atau output, model deterministik dapat dibagi menjadi dua bentuk, yaitu lumped dan terdistribusi. Variabel atau parameter diklasifikasikan sebagai lumped jika besaran yang direpresentasikan tidak memiliki variasi spasial, seperti contohnya curah hujan rata-rata di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Sebaliknya, variabel dan parameter yang terdistribusi mengandung variasi spasial dan temporal. Parameter merupakan besaran yang menggambarkan sistem hidrologi dengan nilai tetap, tidak bergantung pada waktu. Sedangkan variabel adalah besaran yang menggambarkan sistem yang dapat diukur dan memiliki nilai yang berbeda pada waktu yang berbeda (Harsoyo, 2010).

Analisis sensitivitas

Analisis Sensitivitas kalibrasi merujuk pada kemampuan untuk mengamati dampak yang timbul selama proses kalibrasi karena perubahan nilai parameter tersebut. Dengan demikian, pada saat proses kalibrasi, terdapat parameter yang memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi, sehingga perubahan nilai parameter tersebut dapat mengakibatkan perubahan volume yang signifikan (Prayudi, Handayani and Sujatmoko, 2017).

Model swat

SWAT merupakan model yang diperkenalkan oleh Dr. Jeff Arnold pada awal dekade 1990-an untuk keperluan pengembangan Agricultural Research Service (ARS) dari Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA). Tujuan utama pengembangan model ini adalah untuk meramalkan dampak dari manajemen lahan pertanian terhadap fenomena seperti aliran air, sedimentasi, dan jumlah bahan kimia yang masuk ke dalam suatu DAS yang kompleks. Model ini mempertimbangkan berbagai variasi dalam jenis tanah, penggunaan lahan, serta praktik manajemen di suatu DAS setelah melalui periode waktu yang panjang. SWAT mampu digunakan dalam berbagai analisis dan simulasi di dalam suatu DAS. Data masukan dari setiap sub-DAS kemudian dikelompokkan atau diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori seperti iklim, unit respon hidrologi (HRU), badan air, air tanah, dan saluran utama hingga mencapai sistem drainase di sub-DAS tersebut. Unit respon hidrologi di setiap sub-DAS terdiri dari variasi dalam penutupan lahan, jenis tanah, dan praktik manajemen yang diterapkan (Neitsch *et al.*, 2005).

Data curah hujan

Hujan merupakan salah satu fenomena yang dipengaruhi oleh iklim. Parameter iklim tersebut meliputi udara, kelembapan, suhu, dan arah angin. Untuk menghitung atau mencatat hujan dalam satu sesi sangat sulit dilakukan, sehingga meramal dan menambah data pencatatan hujan perlu dilakukan. Curah hujan adalah jumlah air hujan yang terakumulasi dalam suatu tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap, dan tidak mengalir. Curah hujan memiliki satuan milimeter (mm) atau inchi (inch). Di Indonesia curah hujan dinyatakan dalam satuan (mm) milimeter (Zakaria, Welly and Cambodia, 2015).

Satelit PERSIANN

Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks (PERSIANN) untuk estimasi curah hujan yang sedang dikembangkan di Universitas Arizona mengalami penyempurnaan secara

berkala. Algoritma dasar didasarkan pada jaringan saraf dan oleh karena itu dapat dengan mudah diadaptasi untuk memasukkan informasi yang relevan ketika tersedia. Fitur pelatihan adaptif memfasilitasi pembaruan cepat parameter jaringan setiap kali tersedia perkiraan curah hujan independen (Vernimmen *et al.*, 2012). PERSIANN dikembangkan dengan jaringan tiruan yang memperkirakan laju hujan dari data IR, dengan penyesuaian dalam parameter jaringan berdasarkan turunan MW dan laju hujan di lapangan jika tersedia. Rentang waktu data PERSIANN yaitu dari tahun 2000 hingga sekarang (Gustoro, Sujono and Karlina, 2022).

3. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Serayu. Daerah Aliran Sungai (DAS) Serayu melewati beberapa kabupaten di Jawa Tengah yaitu Kabupaten Wonosobo, Kabupaten Banjarnegara, Kabupaten Purbalingga, Kabupaten Banyumas, dan Kabupaten Cilacap. Setiap tahun, Sungai Serayu selalu menyebabkan banjir, terutama pada wilayah Banyumas dan Cilacap. Daerah ini setiap tahun mengalami banjir sehingga menyebabkan kerugian dalam jumlah puluhan miliar rupiah karena kerusakan infrastruktur seperti rumah penduduk, lahan pertanian, jalan, jembatan, dan fasilitas umum lainnya. Tingginya curah hujan juga merupakan salah satu penyebab terjadinya aliran permukaan yang besar (Hernanda *et al.*, 2016).



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Pengumpulan Data

Data utama yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data geospasial dan data hidrologis, data-data tersebut termasuk data sekunder. Data yang diperoleh berasal dari lembaga pemerintah dan non-pemerintah, dengan penggunaan metode kuantitatif yang melibatkan analisis. Penelitian ini memuat tiga variabel, yakni variabel kontrol, variabel terikat, dan variabel bebas. Data tanah, data curah hujan, data Digital Elevation Model (DEM), data tata guna lahan, data debit sungai, serta data pola aliran sungai dianggap sebagai variabel kontrol.

a. Data Geospasial DAS

Data Geospasial DAS Serayu adalah kumpulan informasi geografis yang berkaitan dengan Daerah Aliran Sungai (DAS) Serayu. Data ini meliputi berbagai jenis informasi spasial seperti peta, citra satelit, data hidrologi, data curah hujan, data sungai, data tata guna lahan, dan informasi lainnya yang relevan dengan karakteristik fisik, topografi, dan hidrologi DAS Serayu. Data Geospasial DAS Serayu digunakan untuk pemodelan hidrologi, analisis lingkungan, perencanaan tata guna lahan, manajemen sumber daya air, dan berbagai kegiatan lainnya yang terkait dengan pengelolaan DAS Serayu.

b. Data Hujan

Data hujan dapat diperoleh dari Balai PSDA. Data tersebut akan digunakan sebagai data masukan curah hujan pada model SWAT, kalibrasi model, verifikasi model, dan input program R Studio.

c. Data Tata Guna Lahan

Data tata guna lahan didapat dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2019 (www.geoportal.menlhk.go.id). Peta tata guna lahan yang telah diperoleh dipotong menggunakan teknik Clip pada perangkat lunak QGIS sesuai dengan wilayah penelitian, kemudian peta tersebut diubah proyeksinya ke UTM WGS 84 29S. Peta tata guna lahan yang sudah diubah proyeksinya kemudian disesuaikan kembali dengan kondisi lahan pada tahun 2020 melalui proses digitasi manual dengan referensi citra satelit Spot 6 yang diperoleh dari Balai Penginderaan Jauh LAPAN.

d. Data Tanah

Peta tanah diperoleh dari Pusat Sumber Daya Lahan Pertanian, selanjutnya diolah untuk diintegrasikan ke dalam model SWAT. Setiap data Jenis Profil Tanah (SPT) yang ada pada peta tanah disusun menurut kuantitasnya dan disusun secara horizontal. Peta tanah dalam bentuk shapefile diimpor ke ArcMap 10.4 menggunakan tool Add Data. Setelah menyiapkan data untuk integrasi, alat Gabung digunakan untuk menghubungkan data SPT dengan lapisan yang ditentukan. Selanjutnya peta tanah tersebut dipotong ke daerah penelitian menggunakan fungsi Clip di ArcMap 10.4, dan kemudian diubah menjadi proyeksi UTM WGS 84 29S. Terakhir, data peta tanah dalam format Excel diubah menjadi file CSV untuk dianalisis lebih lanjut.

e. Data Curah Hujan Penginderaan Jarak Jauh

Data curah hujan penginderaan jauh diperoleh dari satelit GPCC (Global Precipitation Climate Centre). Satelit GPCC berfungsi sebagai pusat pusat yang bertanggung jawab untuk mengumpulkan, menganalisis, dan menyebarkan data curah hujan global. Ini memanfaatkan beragam sumber data, yang mencakup citra satelit, stasiun cuaca, dan model iklim, untuk melakukan analisis curah hujan global. Data ini digunakan sebagai masukan bagi program RStudio untuk mengembangkan skenario perubahan iklim dengan menggunakan pendekatan scenario-neutral.

Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan yaitu:

a. Kajian Literatur

Tahap kajian literatur dalam penelitian DAS (Daerah Aliran Sungai) Serayu akan melibatkan pencarian, pengumpulan, dan analisis berbagai sumber literatur yang relevan dengan topik penelitian tersebut. Tahap ini merupakan langkah awal yang penting dalam proses penelitian, karena akan membantu peneliti memahami konteks, teori, metodologi, dan temuan terdahulu yang berkaitan dengan DAS Serayu.

b. Pembuatan Model Peta pada ArcGIS

Langkah-langkah simulasi dalam perangkat lunak SWAT (Soil and Water Assessment Tool) dimulai dengan pengaturan parameter model yang mencakup data hidrologis, topografi, tanah, penggunaan lahan, dan iklim. Selanjutnya, data curah hujan, suhu udara, dan lainnya yang diperlukan dimasukkan ke dalam model sesuai dengan periode waktu yang ditentukan. Proses ini diikuti dengan pengujian model untuk memastikan parameter yang tepat telah dipilih dan untuk mengidentifikasi kemungkinan masalah dalam simulasi. Setelah pengaturan awal selesai, model dijalankan untuk mensimulasikan aliran air, erosi tanah, dan pergerakan nutrisi dalam Daerah Aliran Sungai (DAS).

c. Pemodelan SWAT

Setelah dilakukan kajian literatur dan olah data, selanjutnya dilakukan Pemodelan SWAT yang terdiri dari beberapa tahap sebagai berikut :

1) Deliniasi DAS

Dalam perangkat lunak SWAT, deliniasi DAS (Daerah Aliran Sungai) dimulai dengan pembangunan struktur layer hidrologi dasar seperti digitasi batas DAS, sungai, dan kontur topografi. Data topografi seperti Digital Elevation Model (DEM) diimpor dan diproses untuk mengekstrak arah aliran air, yang kemudian digunakan untuk membentuk jaringan sungai. DAS kemudian didefinisikan dengan mengidentifikasi sel-sel yang mengalir ke titik outlet yang ditetapkan. Titik outlet ini seringkali dipilih berdasarkan lokasi muara sungai utama atau tempat di mana aliran air meninggalkan DAS. Setelah deliniasi selesai, verifikasi dan koreksi terus-menerus dilakukan untuk memastikan akurasi deliniasi yang optimal, memungkinkan penggunaan model SWAT untuk analisis hidrologi yang tepat dan andal.

2) Pembentukan HRU

Langkah-langkah pembentukan Hydrological Response Unit (HRU) dalam perangkat lunak SWAT dimulai dengan pengidentifikasi dan pemahaman terhadap karakteristik fisik, hidrologis, dan penggunaan lahan di wilayah studi. Selanjutnya, wilayah studi dibagi menjadi unit-unit yang homogen, biasanya berdasarkan pada faktor-faktor seperti jenis tanah, tipe vegetasi, topografi, dan pola penggunaan lahan. Setiap HRU kemudian diberi atribut yang mencakup parameter-parameter hidrologis dan tanah yang relevan, seperti infiltrasi, retensi air, dan kemampuan erosi. Proses ini memungkinkan model SWAT untuk merepresentasikan interaksi kompleks antara air, tanah, dan vegetasi di dalam suatu wilayah dengan lebih akurat. Dengan HRU sebagai unit dasar, model dapat memberikan simulasi yang lebih detail dan tepat terkait dengan aliran air, erosi, dan kualitas air di dalam DAS yang diteliti.

3) Simulasi SWAT

Langkah-langkah simulasi dalam perangkat lunak SWAT (Soil and Water Assessment Tool) dimulai dengan pengaturan parameter model yang mencakup data hidrologis, topografi, tanah, penggunaan lahan, dan iklim. Selanjutnya, data curah hujan, suhu udara, dan lainnya yang diperlukan dimasukkan ke dalam model sesuai dengan periode waktu yang ditentukan. Proses ini diikuti dengan pengujian model untuk memastikan parameter yang tepat telah dipilih dan untuk mengidentifikasi kemungkinan masalah dalam simulasi. Setelah pengaturan awal selesai, model dijalankan untuk mensimulasikan aliran air, erosi tanah, dan pergerakan nutrisi dalam Daerah Aliran Sungai (DAS).

4) *Kalibrasi dan Validasi*

Kalibrasi adalah proses optimalisasi nilai parameter untuk meningkatkan koherensi antara respons hidrologi DAS yang teramati dan tersimulasi (Bloschl and Grayson, 2004). Sebuah model dapat dikatakan baik ketika data hasil simulasinya mendekati atau sama dengan data observasinya. Dengan demikian, pada saat proses kalibrasi, terdapat parameter yang memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi, sehingga perubahan nilai parameter tersebut dapat mengakibatkan perubahan volume yang signifikan (Prayudi, Handayani and Sujatmoko, 2017).

Validasi adalah suatu tindakan penilaian terhadap parameter tertentu, berdasarkan percobaan laboratorium, untuk membuktikan bahwa parameter tersebut memenuhi persyaratan untuk penggunaannya atau bisa dimaksud dengan proses pembuktian dari suatu model, apakah model tersebut dikatakan layak untuk dipakai atau tidak. Proses validasi pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan data debit aliran simulasi dengan data observasi dan data kadar air tanah simulasi dengan data kadar air tanah observasi.

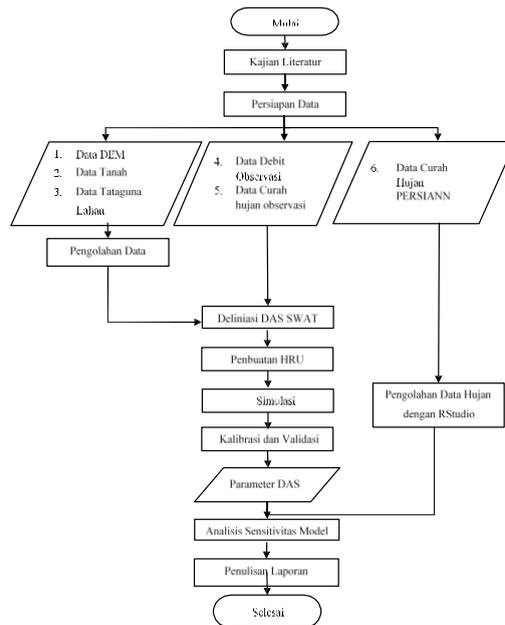
a. *Uji Sensitivitas dan Analisis Model*

Tujuan dari tahapan ini yaitu untuk menganalisis dan menentukan debit andalan dari hasil permodelan. Debit andalan adalah jumlah air yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan dengan mempertimbangkan tingkat risiko kekurangan. Debit andalan yang menjadi fokus penelitian ini adalah debit yang memiliki probabilitas sekitar 80% dari total 100% di dalam Daerah Aliran Sungai (DAS). Untuk menganalisis probabilitas ini, diperlukan setidaknya data selama lima tahun. Biasanya, untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, digunakan data selama sepuluh tahun. Sensitivitas parameter kalibrasi merujuk pada kemampuan untuk mengamati dampak yang timbul selama proses kalibrasi karena perubahan nilai parameter tersebut. Analisis sensitivitas ini dilakukan menggunakan software SWAT+ Toolbox.

b. *Penulisan Laporan*

Setelah dilakukan analisis dan pengolahan data, kemudian hasil dari penelitian yang sudah dilakukan disusun untuk menjadi laporan tugas akhir yang akan menghasilkan informasi dan hasil dari penelitian ini.

Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Peta Lokasi

Tahap yang pertama dilakukan dalam penelitian ini adalah pembuatan lokasi DAS Serayu menggunakan software ArcGis guna mendapatkan koordinat yang tepat. Selain itu dilakukan penyesuaian agar mendapatkan basin model untuk permulaan data masukan pada model hidrologi SWAT. Luas DAS Serayu yang diperoleh dari pembuatan peta ini adalah 3.612,64 km².



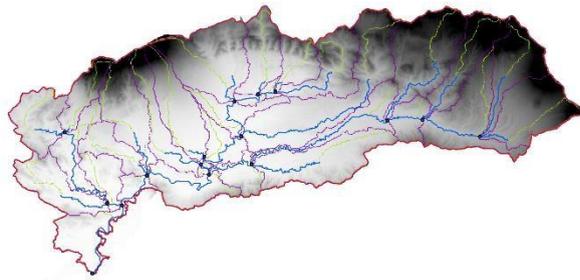
Gambar 3. Peta Lokasi DAS Serayu

Pemodelan Hidrologi pada Model SWAT

Model hidrologi SWAT (Soil and Water Assessment Tool) adalah sebuah model komputer yang digunakan untuk memprediksi dampak dari manajemen lahan dan penggunaan lahan pada kualitas dan kuantitas air dalam suatu daerah aliran sungai yang kompleks dengan penggunaan, kondisi, dan pengelolaan tanah yang bervariasi dalam jangka waktu yang lama. Tahapan yang perlu dilakukan untuk pemodelan hidrologi SWAT ini dimulai dengan deliniasi DAS, pembentukan HRU, penggabungan HRU dengan data iklim. Simulasi model hidrologi SWAT, dan yang terakhir yaitu kalibrasi dan validasi model hidrologi SWAT. Tahapan tersebut dijelaskan sebagai berikut.

a. Deliniasi DAS

Tahap awal dalam pemodelan hidrologi dalam SWAT yaitu Deliniasi DAS. Deliniasi DAS merupakan tahapan yang bertujuan untuk membentuk batasan pada daerah aliran sungai. Data yang dibutuhkan dalam proses ini yaitu data DEM dengan resolusi 90 m dan data pemodelan aliran sungai atau stream. Hasil dari proses deliniasi DAS ini menghasilkan sub-basin, output DAS, batas DAS, jaringan aliran sungai, dan outlet aliran sungai DAS Serayu. Proses deliniasi DAS Serayu menghasilkan data yang dapat dilihat pada Gambar 4.



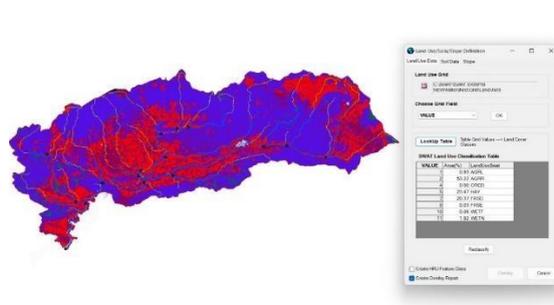
Gambar 4. Hasil Pemodelan Deliniasi DAS Serayu

b. Pembentukan HRU

Tahap selanjutnya dalam pemodelan SWAT merupakan HRU (*Hydrologica Response Unit*) yang merupakan analisis hidrologi yang terbentuk dari hasil *overlay* dari peta tanah, *Land Use and Land Cover* (LULC), dan peta lereng dengan format sistem koordinat proyeksi UTM, dan *threshold* dari presentasi total LULC 10%, jenis tanah sebesar 5%, dan kemiringan lereng sebesar 5% (Sintanala Arsyad, 2006). Hasil dari pengolahan data LULC pada pemodelan hidrologi SWAT ditampilkan dalam Tabel 1 dan Gambar 5.

Tabel 1 Data LULC DAS Serayu

No	Code	Landuse Keterangan	Luas	
			Km ²	Presentase
1	AGRL	<i>Agricultural Land-Close-grown</i>	33.60	0.93
2	AGR	<i>Agricultural Land-Row Crop</i>	1922.65	53.22
3	ORCD	<i>Orchard</i>	0.00	0.00
4	HAY	<i>Hay</i>	847.89	23.47
5	FRSD	<i>Forest-Deciduous</i>	735.89	20.37
6	FRSE	<i>Forest-Evergreen</i>	1.08	0.03
7	WETF	<i>Wetlands-Forested</i>	2.17	0.06
8	WETN	<i>Wetlands-Non Forested</i>	69.36	1.92

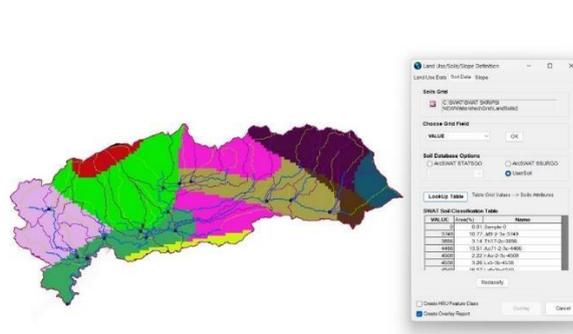


Gambar 5, Hasil Pengolahan Data LULC DAS Serayu

Selanjutnya dilakukan pengolahan tanah dengan data tanah yang didapat pada *Harmonized Soil World Database* (HWSO). Dalam *input* data tanah ini disesuaikan dengan keterangan kode tanah tersebut menggunakan file notepad (.txt). Berikut merupakan hasil dari pengolahan pada model SWAT.

No	Tanah		Luas	
	Code	Keterangan	KM ²	Presentase
1	Sample-0	LFS-LFS-S	0.41	0.01
2	Jd9-2-3a-3749	LOAM	389.15	10.77
3	Th17-2c-3856	LOAM	113.6	3.14
4	Ao71-2-3c-4466	CLAY_LOAM	488.15	13.51
5	I-Ao-2-3c-4508	SANDY_CLAY_LOAM	80.33	2.22
6	Lv5-3b-4538	CLAY	117.91	3.26
7	Lv6-3b-4540	CLAY	598.49	16.57
8	To24-2c-4575	LOAM	413.83	11.46
9	To25-2b-4576	CLAY_LOAM	755.26	20.9061
10	Tv38-1bc-4580	SANDY_LOAM	131.94	3.65205
11	Vp62-3b-4585	CLAY	523.57	14.4928

Gambar 6. Data Sebaran Tanah DAS Serayu

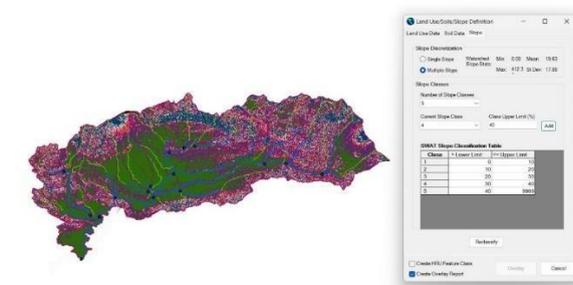


Gambar 7. Pengolahan Data Tanah

Kemiringan lereng merupakan faktor krusial dalam mengatur aliran air di sebuah Daerah Aliran Sungai (DAS) karena mempengaruhi kecepatan dan volume air yang mengalir di permukaan. Berikut merupakan hasil dari pengolahan data kemiringan lereng.

Tabel 2 Hasil Pengolahan Data Kemiringan Lereng DAS Serayu

No	Keterangan	Luas	
		Km ²	Persentase
1	0-10%	1374.21	38.04%
2	10-20%	875.01	24.22%
3	20-30%	583.50	16.15%
4	30-40%	345.11	9.55%
5	>40%	434.81	12.04%



Gambar 8. Hasil Pengolahan Data Kemiringan Lereng DAS Serayu

Pembagian *Hydrologic Response Units* (HRU) menyesuaikan dengan *threshold* dari persentase total luasan *Land Use and Land Cover* (LULC) sebesar 10%, jenis tanah sebesar 5%, dan kemiringan lereng sebesar 5% (Sintanala Arsyad, 2006). Pada simulasi ini total *Hydrologic Response Units* (HRU) yang dihasilkan yaitu sebesar 568 HRU dan

terdapat beberapa perubahan persentase *Land Use and Land Cover (LULC)*, tanah, dan kemiringan lereng seperti yang ditampilkan pada Gambar 9.

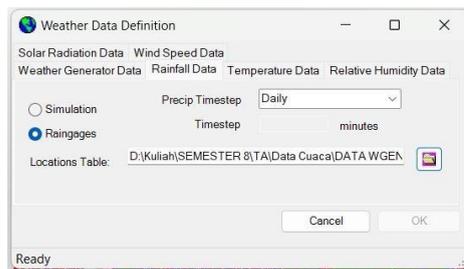
	Area [ha]	Area[acres]	
Watershed	30204.8191	892781.5953	
LANDUSE:			
Agricultural Land-Row Crops --> AGR1	282279.8115	408843.5282	55.99
Hay --> HAY	87243.9058	211344.8029	28.57
Forest-Nonconiferous --> FRO2	73812.9853	183887.1885	25.12
Agricultural Land-generic --> AGR1	47.2733	116.8347	0.01
SOILS:			
Lvl-30-4540	62822.6458	153261.8935	17.17
Wpt2-30-4540	50111.7488	123828.6389	13.87
Tsp1-20-4538	29872.8713	73878.0383	9.28
Tsp1-20-3856	11337.3798	28015.2322	3.14
Lvl-20-4538	12599.5388	29952.5825	3.32
Tsp4-20-4575	49328.8854	121686.2972	13.41
Wpt2-2-30-4666	48886.7516	120312.3879	13.48
Lvl-10-4540	11273.6311	27995.7764	3.07
Spt-2-30-2749	38327.3872	94111.8227	10.40
Lvl-2-30-4540	7741.0879	19129.1895	2.14
SLOPE:			
0-10	131442.2113	326126.0257	38.44
10-20	12977.8887	32277.8222	3.94
20-30	89776.9565	222792.5668	26.44
40-9999	43792.9138	108115.6873	12.11
90-100	38551.6727	95178.9333	9.56

Gambar 9. Perubahan Presentase Data setelah Pembagian HRU

c. *Penggabungan HRU dengan Data Iklim*

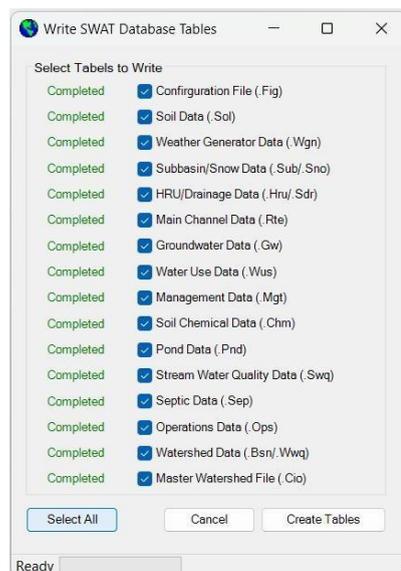
Ketika data iklim seperti curah hujan, suhu, dan kelembaban digabungkan dengan HRU, model dapat mensimulasikan respon hidrologis setiap unit terhadap variabilitas iklim. Hal ini memungkinkan prediksi yang lebih akurat mengenai aliran sungai, ketersediaan air, dan risiko bencana alam seperti banjir dan kekeringan, serta membantu dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya air secara lebih efektif.

HRU yang telah terbentuk pada DAS Serayu kemudian akan digabungkan dengan data masukan iklim untuk mengetahui kondisi DAS Serayu pada rentang tertentu. Data iklim yang digabungkan berupa data curah hujan, kecepatan angin, kelembapan relatif, temperatur, dan radiasi matahari. Dalam pemodelan hidrologi ini digunakan data iklim yang didapat dari Climate Forecast System Reanalysis (CSFR) pada rentang tahun 2000-2019. Pada DAS Serayu digunakan 3 stasiun CSFR yaitu stasiun 731094 (-7.337,109.375), stasiun 731097 (-7.337,109.688), dan stasiun 731100 (-7.337,110). Setelah semua data cuaca didapatkan kemudian data tersebut dapat di-input pada menu write input table, pada tahap ini semua data disesuaikan dengan bagiannya masing masing seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Input Data Cuaca Berdasarkan Tabel

Ketika semua data sudah berhasil di-input kemudian lakukan pengisian data database SWAT seperti pada gambar 11.



Gambar 11. Pengisian Tabel Database SWAT

d. Simulasi SWAT

Simulasi SWAT dilakukan selama 18 tahun pada rentang waktu 2001-2018 dengan *warm up* periode selama 2 tahun. Hasil simulasi SWAT akan dilewatkan selama 2 tahun awal rentang waktu sehingga hasil yang didapat dari simulasi SWAT yaitu pada rentang periode 2003-2018. Simulasi SWAT menghasilkan rerata hujan bulanan DAS Serayu, debit aliran (*Flow Out*), dan beberapa hasil yang lain. Pada simulasi ini lebih berfokus pada perbandingan debit aliran (*Flow Out*) bulanan pada tahun 2003-2018 yang didapat dari *tables out* hasil dari simulasi model SWAT.

Mon	Rain (MM)	Snow Fall (MM)	SURF Q (MM)	LAT Q (MM)	Water Yield (MM)	ET (MM)	Sed. Yield (T/HA)	PET (MM)
1	297.40	0.00	110.53	25.29	267.58	0.00	533.42	0.00
2	297.78	0.00	115.33	24.80	275.51	0.00	579.71	0.00
3	218.65	0.00	75.09	21.55	252.31	0.00	400.52	0.00
4	185.72	0.00	58.77	18.06	212.70	0.00	318.70	0.00
5	168.20	0.00	62.03	15.44	199.68	0.00	317.37	0.00
6	115.00	0.00	40.96	11.85	153.87	0.00	214.60	0.00
7	80.48	0.00	25.07	8.79	118.28	0.00	129.78	0.00
8	35.62	0.00	9.20	4.70	75.60	0.00	53.12	0.00
9	75.71	0.00	28.72	6.02	77.34	0.00	151.48	0.00
10	140.06	0.00	49.69	10.60	105.47	0.00	255.89	0.00
11	237.07	0.00	89.63	18.26	175.03	0.00	440.08	0.00
12	309.35	0.00	121.03	23.43	246.52	0.00	627.48	0.00

Gambar 12. Data Hasil Simulasi SWAT

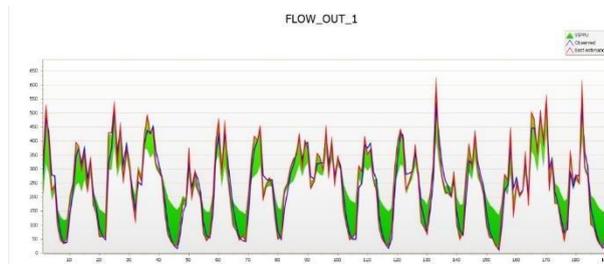
e. Kalibrasi dan Validasi

Kalibrasi dan validasi bertujuan untuk memastikan model dapat menghasilkan kondisi hidrologi yang sebenarnya dengan baik. Proses kalibrasi dan validasi pada pemodelan hidrologi SWAT dilakukan dengan *software* SWATCUP dengan menggunakan metode Sufi2. Kalibrasi dan validasi dilakukan dengan menggunakan 5 sampel pengujian. Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu *alpha_bf*, *cn2*, *GW_Delay*, dan *GWQMN*. Hasil dari parameter kalibrasi dan validasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter Kalibrasi dan Validasi

No	Parameter		Nilai	
			Max	Min
1	Alpha_bf	Kurva aliran	0	1
2	Cn2	Alpha aliran dasar	0.2	-0.2
3	GW_DELAY	Ambang batas aliran air bawah tanah	30	450
4	GWQMN	Aliran air bawah tanah tertahan	0	2

Setelah parameter kalibrasi ditentukan, selanjutnya yaitu *running* sampel kalibrasi sebanyak 5 kali simulasi. Parameter evaluasi SWAT menggunakan koefisien determinasi (R^2) dan indeks Nash-Sutcliffe (NS). Untuk nilai koefisien determinasi (R^2) memiliki rentang antara 0 hingga 1, hal tersebut menunjukkan hubungan antara nilai yang diamati dengan nilai yang disimulasikan. Untuk indeks Nash-Sutcliffe (NS) memiliki rentang antara 0 hingga 1 yang menunjukkan seberapa baik hasil dari nilai kalibrasi tersebut. Hasil dari kalibrasi model hidrologi SWAT dapat dilihat pada Gambar 13, Gambar 14, dan Gambar 15.



Gambar 13. Hasil Perbandingan Debit Simulasi dan Observasi

```

Goal_type= Nash_Sutcliff... No_sims= 5... Best_sim_no= 3... Best_goal = 9.237917e-001
Variable ..... p-factor ..... r-factor ..... R2 ..... NS ..... bR2 ..... MSE ..... SSQR ..... PBIAS ..... KGE
FLOW_OUT_1 ..... 0.78 ..... 0.54 ..... 0.94 ..... 0.92 ..... 0.8999 ..... 1.3e+003 ..... 2.5e+002 ..... -0.1 ..... 0.92

KGE RSR MNS VOL_FR ..... Mean_sim(Mean_obs) ..... StdDev_sim(StdDev_obs)
0.92 0.28 0.73 1.00 ..... 249.53 (249.35) ..... 142.78 (132.86)
    
```

Gambar 14 Nilai Hasil Kalibrasi

```

Goal_type=Nash_Sutcliff  No_sims=5  Best_sim_no=3  Best_goal = 9.237917e-001

Parameter_Name  Fitted_Value  Min_value  Max_value
1:R_CN2.mgt    0.160000    -0.200000    0.200000
2:v_ALPHA_BF.gw 0.900000    0.000000    1.000000
3:v_GW_DELAY.gw 72.000000    30.000000    450.000000
4:v_GWQMN.gw   1.400000    0.000000    2.000000

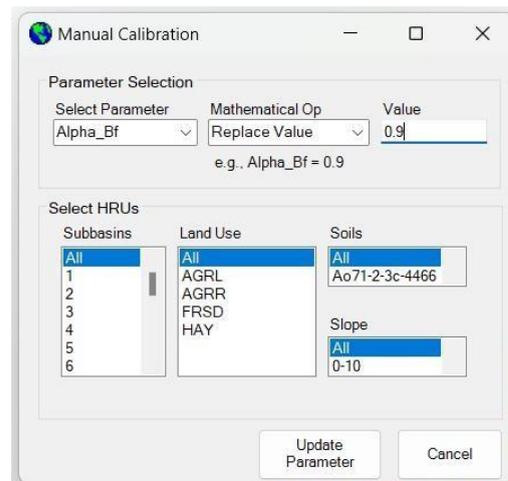
... 0.160000  0.900000  72.000000  1.400000

r_CN2.mgt      0.160000
v_ALPHA_BF.gw 0.900000
v_GW_DELAY.gw 72.000000
v_GWQMN.gw    1.400000

```

Gambar 15. Parameter Terbaik

Hasil dari parameter ditunjukkan seperti pada Gambar 4.11 dimana hasil terbaik didapatkan pada hasil *running* ke-3. Kemudian hasil dari parameter tersebut di-*input* ke *software* SWAT sebelum dilakukan simulasi lanjutan. Data parameter dimasukkan pada *manual calibration* ArcSWAT sehingga hasil simulasi sudah terkalibrasi dan terverifikasi.

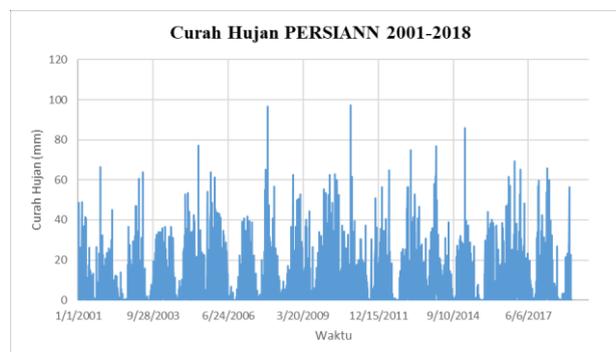


Gambar 16. Proses *Input* Hasil Kalibrasi

Berdasarkan hasil *running* kalibrasi dan validasi didapatkan nilai R2 sebesar 0,94 dan NS sebesar 0,92. Berdasarkan hasil tersebut maka nilai R2 dapat dikategorikan ke dalam kategori yang sangat tinggi. Untuk nilai NS dapat dikategorikan baik.

Pemodelan Curah Hujan dengan Pendekatan Scenario-Neutral

Pemodelan curah hujan dengan pendekatan *scenario-neutral* adalah suatu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi pola curah hujan tanpa adanya asumsi terhadap perubahan iklim di masa depan. Pendekatan ini bertujuan untuk menghasilkan proyeksi yang lebih konservatif dan stabil dengan mengandalkan data historis yang ada serta teknik statistik yang cermat. Data curah hujan yang dipakai yaitu data curah hujan PERSIANN dengan periode waktu 2001-2018. Data yang digunakan yaitu selama 18 tahun. Data curah hujan PERSIANN pada periode tahun 2001-2018 ditampilkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Data Curah Hujan PERSIANN Tahun 2001-2018

Skenario Perubahan Iklim pada Model SWAT

a. Simulasi Debit Menggunakan Data Hujan Hasil Skenario

Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data curah hujan tahunan yang disimulasikan dengan variasi peningkatan dan penurunan dibandingkan dengan data observasi. Setiap variasi diwakili oleh tiga simulasi, sehingga secara keseluruhan terdapat tujuh simulasi yang dimodelkan menggunakan ArcSWAT untuk mengestimasi debit air. Data yang digunakan dalam simulasi adalah data observasi curah hujan CFSR dan data hasil skenario curah hujan PERSIANN. Data cuaca pada hasil skenario curah hujan PERSIANN dibagi menjadi 3 data cuaca yang total hujannya lebih rendah (*lower*) dari data curah hujan CFSR dan 3 data yang total curah hujan lebih tinggi (*upper*) dari data curah hujan CFSR. Semua data sampel yang digunakan dapat dilihat dalam Tabel 4.

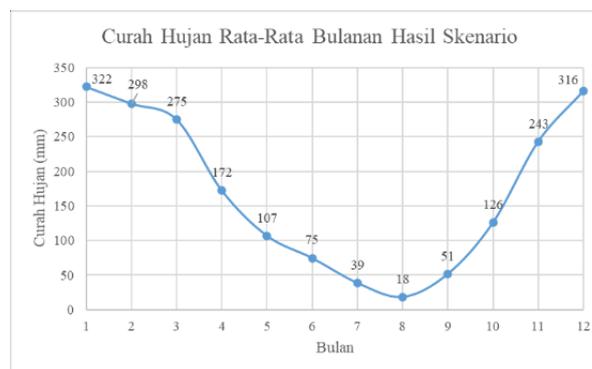
Tabel 4 Sampel Debit Simulasi pada ArcSWAT

No.	Simulasi	Total Curah Hujan Tahunan (mm)	Kondisi
1	CSFR	2158.27	Observasi
2	SN-286	1162.29	<i>Lower 1</i>
3	SN-277	1349.60	<i>Lower 2</i>
4	SN-208	1974.34	<i>Lower 3</i>
5	SN-9	2309.64	<i>Upper 1</i>
6	SN-27	2640.29	<i>Upper 2</i>
7	SN-37	2704.09	<i>Upper 3</i>

Simulasi curah hujan di *RStudio* juga menghasilkan nilai rata-rata curah hujan bulanan. Data ini dikenal sebagai curah hujan sintetis, yang memberikan gambaran lebih rinci mengenai pola curah hujan setiap bulan. Nilai rata-rata total curah hujan pada setiap bulan dari hasil simulasi *Rstudio* dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 18.

Tabel 5. Rata-Rata Curah Hujan Total pada Setiap Bulan

Bulan	CSFR	SN-286	SN-277	SN-208	SN-9	SN-27	SN-37
Jan	298	220	246	386	350	437	319
Feb	277	199	223	334	350	377	326
Mar	224	192	222	311	304	356	316
Apr	187	87	105	169	214	252	194
May	171	41	48	75	156	122	136
Jun	118	26	26	40	112	106	94
Jul	81	14	11	12	73	48	33
Aug	31	0	0	1	18	7	71
Sep	69	11	10	8	41	28	194
Oct	153	28	30	50	132	118	368
Nov	251	116	147	215	257	344	370
Dec	298	226	282	374	303	445	285



Gambar 18. Curah Hujan Rata-Rata Bulanan Hasil Skenario

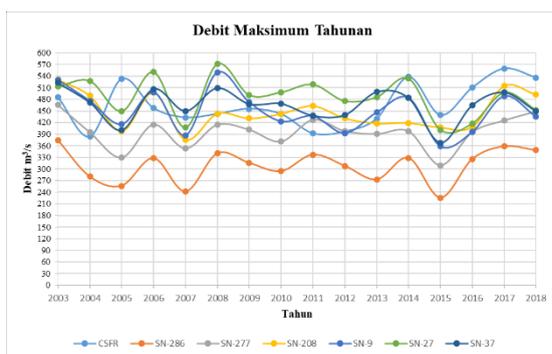
b. Analisis Frekuensi Debit

Hal berikutnya yang dilakukan setelah mendapatkan data curah hujan yaitu memodelkan debit menggunakan data curah hujan hasil simulasi *scenario-neutral* yang akan dijadikan sampel pemodelan SWAT. Data yang digunakan yaitu data pada Tabel 5 dengan menggunakan *software* ArcSWAT. Pada proses pemodelan ini tidak perlu memasukkan data debit pengamatan dikarenakan *output* yang diinginkan adalah debit simulasi dari curah hujan *scenario-neutral*. Hasil dari pemodelan hidrologi tersebut akan direkap dan diolah menggunakan *Microsoft Excel*

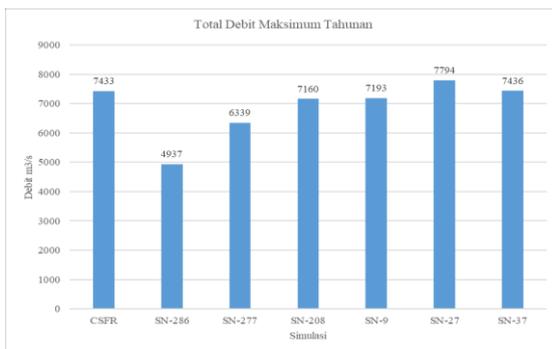
guna mendapatkan debit maksimum tahunan. Hasil debit tahunan yang didapat bisa dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 19.

Tabel 6 Debit Maksimum Tahunan

No	Tahun	Debit Maximum Tahunan						
		CSFR	SN-286	SN-277	SN-208	SN-9	SN-27	SN-37
1	2003	486	375	466	531	530	513	523
2	2004	383	280	395	489	476	528	472
3	2005	533	256	329	397	416	449	400
4	2006	457	328	415	498	499	551	507
5	2007	433	242	353	376	387	407	450
6	2008	442	340	415	443	550	571	509
7	2009	456	316	402	431	473	491	468
8	2010	442	294	371	442	423	498	469
9	2011	392	337	428	463	437	519	438
10	2012	397	308	398	431	393	476	439
11	2013	430	273	391	418	446	486	499
12	2014	538	329	398	419	484	534	483
13	2015	439	226	309	407	359	401	368
14	2016	510	326	396	409	396	418	465
15	2017	560	359	426	515	489	498	498
16	2018	536	349	449	492	435	452	449



Gambar 19. Grafik Debit Maksimum Tahunan

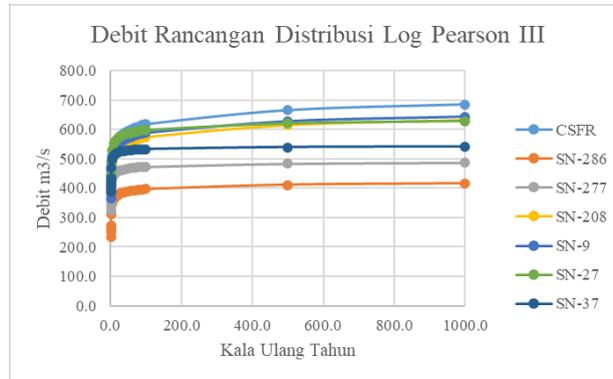


Gambar 20. Grafik Debit Maksimum Tahunan Seluruh Skenario

Analisis frekuensi membutuhkan data debit maksimum tahunan pada grafik dan gambar di atas. Analisis frekuensi menggunakan data yang diambil dari nilai *confidence interval* sebesar 5% dan jenis distribusi data yang dihasilkan yaitu Log Pearson Tipe III. Nantinya hasil tersebut akan menghasilkan data berupa Δ kritik yang paling rendah. Hasil didapatkan pada Tabel 7 dan Gambar 21.

Tabel 7 Hasil Uji Distribusi

Jenis Distribusi	Δkritik	
	Uji Chi-Kuadrat Kolmogorov	Uji Smirnov-
Log Pearson Tipe III	3.481	0.330



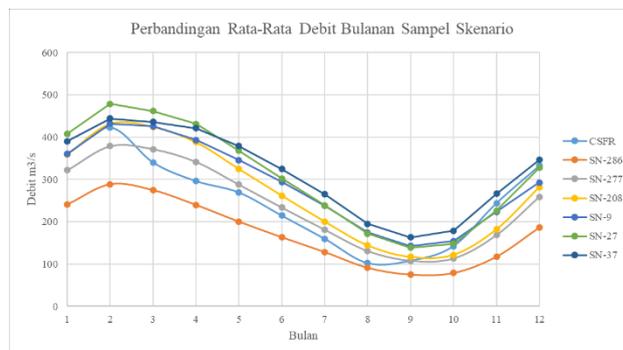
Gambar 21. Debit Kala Ulang Rancangan Setiap Skenario

c. Analisis Sensitivitas DAS Serayu

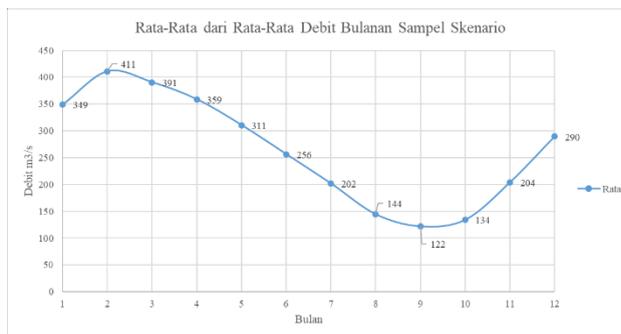
Langkah selanjutnya dalam penelitian ini adalah memodelkan debit menggunakan data curah hujan hasil simulasi skenario-netral yang tercantum dalam Tabel 4.8 dengan menggunakan software ArcSWAT. Proses pemodelan debit ini akan mengikuti tahapan yang telah dijelaskan sebelumnya, namun kali ini tidak perlu memasukkan data debit observasi karena yang diinginkan adalah debit hasil simulasi dari curah hujan *skenario-netral*. Hasil pemodelan debit untuk setiap sampel kemudian akan diproses dan dihitung menggunakan *Microsoft Excel* untuk memperoleh debit maksimum tahunan. Nilai rata-rata debit dapat dilihat pada Tabel 8, Gambar 22, dan Gambar 23.

Tabel 8. Rata-Rata Debit Bulanan

Bulan	CFSR	SN-286	SN-277	SN-208	SN-9	SN-27	SN-37	Rata
Jan	361	241	322	360	361	408	390	349
Feb	423	288	379	432	432	479	444	411
Mar	340	274	372	425	426	462	436	391
Apr	296	239	342	388	393	431	421	359
May	269	200	288	325	345	368	379	311
Jun	214	163	234	262	294	302	325	256
Jul	159	129	181	200	238	239	265	202
Aug	102	92	131	144	174	172	195	144
Sep	108	76	108	117	142	138	163	122
Oct	142	79	113	122	154	148	179	134
Nov	244	117	168	182	224	226	266	204
Dec	332	186	259	282	293	328	346	290



Gambar 22. Perbandingan Rata-Rata Debit Bulanan Sampel Skenario

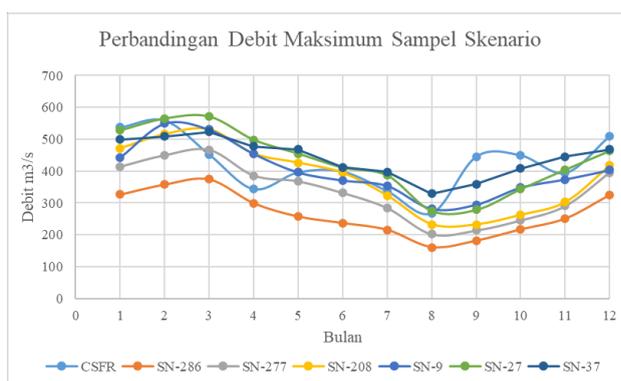


Gambar 23. Nilai Rata-Rata Debit Bulanan Hasil Skenario

Didapat nilai rata-rata debit bulanan pada setiap skenario, kemudian membuat tabel data debit hasil simulasi model SWAT yang akan digunakan untuk mencari nilai debit maksimum dari hasil sampel semua skenario. Nilai debit maksimum bulanan dapat dilihat pada Tabel 9 dan Gambar 24.

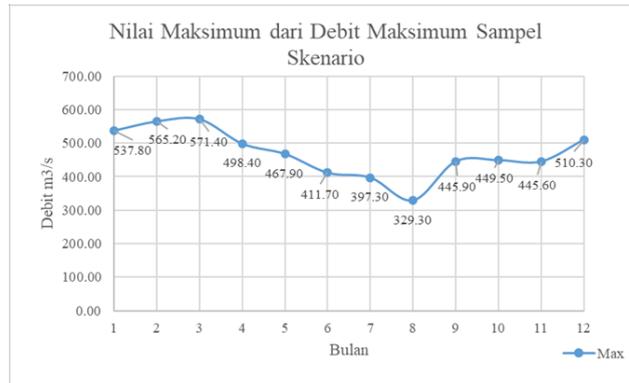
Tabel 9. Nilai Debit Maksimum Bulanan

Bulan	CSFR	SN-286	SN-277	SN-208	SN-9	SN-27	SN-37	Rata-rata
Jan	538	327	414	472	443	528	499	460
Feb	560	359	449	516	550	565	509	501
Mar	452	375	466	531	530	571	523	493
Apr	343	299	386	455	454	498	477	416
May	396	258	368	427	396	455	468	395
Jun	398	237	332	395	371	411	412	365
Jul	337	216	284	323	353	387	397	328
Aug	267	161	202	233	281	275	329	250
Sep	446	182	214	232	294	279	359	287
Oct	450	217	246	263	348	344	408	325
Nov	394	251	291	303	374	405	446	352
Dec	510	326	396	418	403	464	469	426

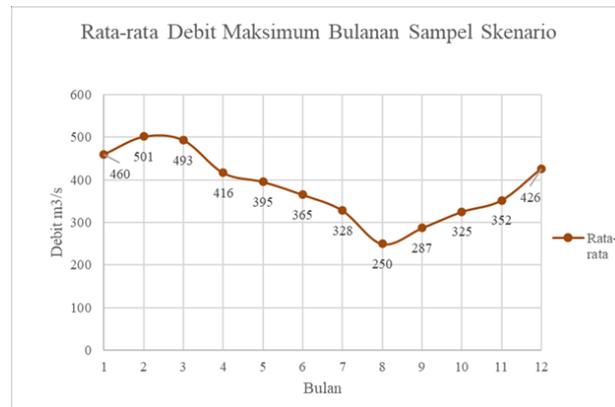


Gambar 24. Perbandingan Debit Maksimum Bulanan antar Skenario

Guna memudahkan dalam melakukan pembacaan grafik, maka dapat dilihat grafik nilai maksimum pada setiap bulan dari nilai rata-rata debit maksimum semua skenario pada Gambar 25 dan Gambar 26.



Gambar 25. Nilai Maksimum dari Debit Maksimum Sampel Skenario

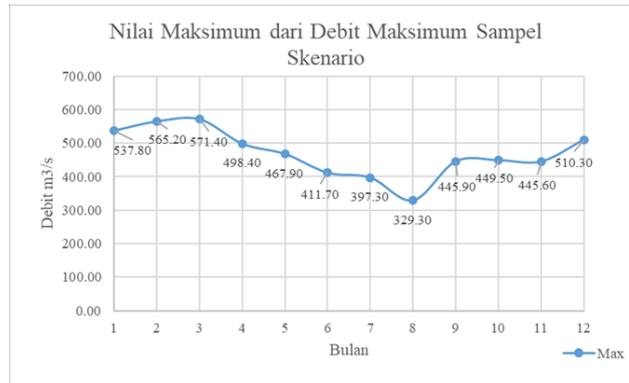


Gambar 26. Nilai Rata-Rata Debit Maksimum Bulanan Sampel Skenario

Langkah selanjutnya yaitu melakukan rekapitulasi pemodelan debit dari masing-masing skenario, melakukan pembuatan tabel untuk debit total bulanan seluruh sampel skenario dari semua tahun simulasi. Hasil dari debit total bulanan dapat dilihat pada Tabel 10 dan Gambar 27.

Tabel 10 Debit Total Bulanan Semua Skenario

Bulan	Debit Total Bulanan
Jan	39081.3
Feb	46030.4
Mar	43750.9
Apr	40180.7
May	34796.6
Jun	28699.5
Jul	22579.4
Aug	16145.1
Sep	13632.3
Oct	15010.5
Nov	22843.3
Dec	32426.5



Gambar 27. Grafik Debit Total Bulanan Semua Skenario

Pembahasan Umum

Penelitian ini yaitu mengenai simulasi curah hujan menjadi debit aliran DAS Serayu menggunakan beberapa *software* diantaranya ArcGis, ArcSWAT, dan SWATCUP. Penelitian ini diawali dengan pemodelan peta DAS Serayu. Setelah mendapatkan model peta DAS Serayu kemudian dilanjutkan dengan proses deliniasi DAS. Deliniasi DAS ini membutuhkan file *Digital Elevation Model* (DEM) DAS Serayu. Hasil dari proses deliniasi DAS ini adalah pembagian dan luasan sub-basin, peta DAS, dan beberapa laporan statistik mengenai DAS Serayu seperti luas DAS, panjang aliran sungai utama, dan elevasi rata-rata. Kemudian setelah proses deliniasi das dilanjutkan dengan proses pembentukan *Hydrological Response Unit* (HRU). Proses pembentukan *Hydrological Response Unit* (HRU) membutuhkan data penggunaan lahan, tanah, dan kemiringan lereng. Dalam proses ini dilakukan dengan mengkombinasikan semua data tersebut yang akan membentuk kesatuan HRU. Dalam pembentukan HRU ini presentase dari total luasan peta *Land Use and Land Cover* (LULC) sebesar 10%, jenis tanah sebesar 5%, dan kemiringan lereng sebesar 5% (Sintanala Arsyad, 2006). Hasil dari proses ini yaitu berupa data sebaran *Land Use and Land Cover* (LULC), data sebaran tanah, dan data kemiringan lereng DAS Serayu. Proses selanjutnya yang dilakukan yaitu meng-*input* data cuaca yang nantinya akan digabungkan secara otomatis dengan data *Hydrological Response Unit* (HRU) oleh *software* ArcSWAT. Data cuaca yang dibutuhkan dalam simulasi hidrologi DAS Serayu ini yaitu berupa data curah hujan, temperatur, radiasi matahari, kelembapan relatif, dan kecepatan angin. Data tersebut disesuaikan dengan stasiun cuaca pada DAS Serayu. Setelah seluruh data tersebut didapatkan dan di-*input* pada *software* ArcSWAT, kemudian bisa dilakukan simulasi.

Proses simulasi hidrologi DAS Serayu dilakukan setelah semua data terkumpul. Pada simulasi ini dilakukan sejak tahun 2001-2018. Dalam rentang waktu simulasi terdapat waktu 2 tahun sebagai *warming up*. Simulasi yang sebenarnya dilakukan sejak tahun 2003-2018 dikarenakan tahun *warming up* tidak ikut serta dalam simulasi. Proses simulasi ini dilakukan sebanyak 7 kali *running*. Perbedaan sampel dalam *running* simulasi tersebut yaitu pada data curah hujan awal. Data yang digunakan meliputi data observasi, data curah hujan tahunan *lower* sebanyak 3 sampel, dan data curah hujan tahunan *upper* sebanyak 3 sampel. Data curah hujan tahunan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan data curah hujan *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks* (PERSIANN).

Proses yang tidak bisa terlewatkan dalam simulasi hidrologi ini yaitu kalibrasi dan validasi data. Proses kalibrasi dan validasi data menggunakan *software* SWATCUP. Proses kalibrasi dan validasi ini dilakukan setelah *running* simulasi hidrologi dengan data observasi dan dilakukan untuk melakukan *running* simulasi data *lower* dan *upper*. Parameter yang digunakan dalam proses kalibrasi dan validasi yaitu alpha_Bf, cn2, GW_DELAY, dan GWQMN. Hasil dari proses kalibrasi dan validasi ini berupa *value* nilai NSE sebesar 0,92 yang dapat dikategorikan dalam kategori layak dan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,94 yang juga dikategorikan sebagai layak. Data hasil kalibrasi dan validasi yang digunakan yaitu berupa data terbaik dari parameter alpha_Bf, cn2, GW_DELAY, dan GWQMN. Proses kalibrasi dan validasi nantinya akan digunakan untuk *running* simulasi hidrologi pada data *upper* dan *lower*. Semua parameter nantinya di-*input* dalam tab *manual calibration* dalam *software* ArcSWAT.

Semua data didapatkan setelah menjalani simulasi dengan semua sampel. Semua data *output* dari simulasi kemudian diolah dengan menggunakan aplikasi *Microsoft Excel*. Dari hasil *output* tersebut ditunjukkan bahwa rata-rata debit tahunan tertinggi terjadi pada bulan Februari kemudian diikuti oleh bulan Maret, April, Januari, Mei, Desember, Juni November, Juli, Agustus, Oktober, dan paling rendah terdapat pada bulan September. Kemudian untuk data *output* nilai rata-rata debit maksimum tertinggi terdapat pada bulan Februari kemudian diikuti oleh bulan Maret, Januari, Desember, April, Mei, November, Juli, Oktober, September, dan data terendah terdapat pada bulan Agustus. Kemudian untuk nilai maksimum debit bulanan yang tertinggi yaitu pada bulan Maret kemudian diikuti bulan Februari, Januari, Desember, April, Mei, Oktober, September, November, Juni, Juli, dan yang terakhir yaitu

pada bulan Agustus. Berdasarkan dari data *output* diatas dapat disimpulkan bahwa DAS Serayu memiliki kemungkinan potensi bencana banjir tertinggi pada bulan Desember hingga Mei (awal tahun).

5. PENUTUP

Kesimpulan

Setelah melakukan serangkaian penelitian dan analisis terhadap data yang telah dikumpulkan, pada bab ini akan disajikan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan ini dirumuskan berdasarkan tujuan penelitian, hipotesis yang telah diajukan, serta temuan-temuan yang diperoleh selama proses penelitian. Dengan demikian, diharapkan kesimpulan ini dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai kontribusi penelitian terhadap bidang studi yang diteliti, serta implikasi praktis dan teoritis yang dapat diambil dari hasil penelitian ini. Beberapa hal penting yang didapat sebagai berikut :

1. Simulasi pemodelan hidrologi DAS Serayu menggunakan data curah hujan CFSR sebagai data observasi dan data curah hujan PERSIANN sebagai data simulasi. Total curah hujan tahunan CFSR sebesar 2158,27 mm, kemudian untuk data curah hujan skenario dari sampel yang dipilih yaitu SN-286 sebesar 1162,29 mm; SN-277 sebesar 1349,60 mm; SN-208 sebesar 1974,34 mm; SN-9 sebesar 2309,64 mm; SN-27 sebesar 2640,29; SN-37 sebesar 2704,09. Proses validasi pemodelan hidrologi DAS Cisanggarung menghasilkan nilai koefisien korelasi antar debit observasi dengan debit validasi sebesar 0,797.
2. Simulasi pemodelan hidrologi dilakukan sebanyak 7 kali simulasi dari rentang waktu 2001-2018 dengan periode waktu warming up 2 tahun pada awal periode simulasi (2001-2002). Berdasarkan hasil simulasi, rata-rata debit bulanan tertinggi terjadi pada bulan Februari sebesar 501 m³/s dan terendah terjadi pada bulan Agustus yaitu sebesar 250 m³/s. Rata-rata debit maksimum bulanan yang tertinggi terjadi pada bulan Maret yaitu sebesar 571,40 m³/s dan terendah terjadi pada bulan Agustus yaitu sebesar 329,30 m³/s.
3. Proses kalibrasi dan validasi pemodelan hidrologi pada DAS Serayu menggunakan software SWATCUP pada penelitian ini menghasilkan nilai R² sebesar 0,94 dan nilai NSE sebesar 0,92 yang kedua hasil tersebut termasuk dalam kategori baik dan layak.
4. Berdasarkan hasil simulasi, rentang bulan yang memiliki potensi ketersediaan atau debit air pada DAS Serayu yang tertinggi terjadi pada bulan Desember hingga bulan Mei. Sedangkan rentang bulan yang memiliki ketersediaan air rendah terjadi pada bulan Juni hingga November. Artinya potensi bencana banjir pada DAS Serayu terjadi pada bulan Desember hingga Mei.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah diuraikan sebelumnya, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut serta penerapan praktis dari temuan penelitian ini. Saran-saran ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif bagi pihak-pihak yang berkepentingan dan mendorong peningkatan kualitas dalam bidang yang diteliti. Berikut adalah beberapa saran yang dapat dipertimbangkan:

1. Berdasarkan hasil penelitian ini, salah satu cara untuk mengurangi dampak banjir yaitu melalui pengembangan sistem peringatan dini berbasis model hidrologi. Sistem seperti ini dapat memberikan informasi kepada masyarakat dan pemerintah daerah mengenai potensi banjir secara lebih dini.
2. Untuk meningkatkan akurasi deteksi banjir, disarankan agar data curah hujan satelit PERSIANN yang digunakan dalam model SWAT divalidasi dengan data curah hujan dari stasiun meteorologi lokal. Hal ini dapat meminimalkan perbedaan antara data satelit dan kondisi sebenarnya di lapangan.
3. Disarankan untuk mengadakan pelatihan dan edukasi bagi pihak-pihak yang terlibat dalam manajemen banjir mengenai penggunaan dan interpretasi hasil dari model SWAT. Ini akan memastikan bahwa model tersebut dapat digunakan secara maksimal dalam upaya mitigasi banjir.
4. Kolaborasi antara akademisi, pemerintah daerah, dan lembaga penelitian meteorologi dan hidrologi sangat penting untuk pengembangan dan penerapan model deteksi banjir yang lebih efektif. Melalui kolaborasi ini, data dan teknologi yang diperlukan dapat diakses dan dimanfaatkan secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Bloschl, G. and Grayson, R. (2004) *Spatial Observations and Interpolation*. Cambridge.
- Gustoro, D., Sujono, J. and Karlina, K. (2022) 'Perbandingan Pola Distribusi Hujan Terukur dan Hujan Satelit PERSIANN di DAS Progo', *Jurnal Teknik Pengairan*, 13(1), pp. 23–35. doi: 10.21776/ub.pengairan.2022.013.01.03.
- Harsoyo, B. (2010) 'REVIEW MODELING HIDROLOGI DAS DI INDONESIA', *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 11(1), pp. 41–47.
- Hernanda, R. Y. *et al.* (2016) 'TANGGUL SUNGAI SERAYU HILIR DARI MUARA HINGGA BENDUNG GERAK SERAYU', *JURNAL KARYA TEKNIK SIPIL*, 5(1), pp. 135–145. Available at: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts>.
- Irawan, D. and Zulkifli Mulki, G. (2016) 'ANALISA KAWASAN RAWAN BANJIR KOTA SINTANG MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFI', *JURNAL TEKNIK SIPIL*, 16(2), pp. 529–539.
- Jariyah, N. A. and Pramono, I. B. (2013) 'KERENTANAN SOSIAL EKONOMI DAN BIOFISIK DI DAS SERAYU: Collaborative Management (Susceptibility of Socio Economic and Biophysical in Serayu Watershed)', *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 10(3), pp. 141–166.
- Kustamar and Yulianti, E. (2009) 'MODEL HIDROLOGI DAS ITN I', *Jurnal Sumber Daya Air*, 5(2), pp. 85–94.
- Marlina, A. and Andayani, R. (2018) 'Model Hidrologi Untuk Prediksi Banjir Kota Palembang', *Prosiding Seminar Nasional Hari Air Dunia 2018*, pp. 1–13.
- Neitsch, S. L. *et al.* (2005) *SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL THEORETICAL DOCUMENTATION VERSION 2005*.
- Prayudi, M., Handayani, Y. L. and Sujatmoko, B. (2017) 'ANALISIS SENSITIVITAS PARAMETER KALIBRASI DALAM HEC-HMS', *Jom FTEKNIK*, 4(1).
- Purnama, S. (2010) 'POTENSI SUMBERDAYA AIR DAS SERAYU', 6(3), pp. 291–302.
- Sintanala Arsyad (2006) *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Sudaryono (2002) 'PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) TERPADU, KONSEP PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN', *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 3(2), pp. 153–158.
- Vernimmen, R. R. E. *et al.* (2012) 'Evaluation and bias correction of satellite rainfall data for drought monitoring in Indonesia', *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(1), pp. 133–146. doi: 10.5194/hess-16-133-2012.
- Wibowo, K. M., Kenedi, I. and Jumadi, J. (2015) 'SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG) MENENTUKAN LOKASI PERTAMBANGAN BATU BARA DI PROVINSI BENGKULU BERBASIS WEBSITE', *Jurnal Media Infotama*, 11(1), pp. 51–60.
- Windiastik, S. P., Ardhana, N. and Triono, J. (2019) 'PERANCANGAN SISTEM PENDETEKSI BANJIR BERBASIS IOT (INTERNET OF THING)', *Seminar Nasional Sistem Informasi*, 3(1), pp. 1925–1931.
- Zakaria, A., Welly, M. and Cambodia, M. (2015) 'Model Stokastik Curah Hujan Harian dari Beberapa Stasiun Curah Hujan di Way Jepara', *Jurnal Rekayasa*, 19(2), pp. 107–118.