

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai atau lebih dikenal dengan istilah “DAS” ialah ekosistem alami yang dibatasi oleh pegunungan. Air hujan yang jatuh di area ini mengalir ke sungai-sungai dan akhirnya menuju laut atau danau. Cakupan DAS terdiri dari dua bagian: daerah hulu yang memberikan air dan daerah hilir yang menerima air. Kedua bagian ini saling terhubung dan memengaruhi satu sama lain. Fungsi DAS termasuk sebagai area untuk menangkap air, menyimpan air, dan mendistribusikan air (Halim, 2014). Jika salah satu bagian dari DAS dalam kondisi buruk, hal itu akan berdampak besar pada keseluruhan DAS. Salah satu akibat dari pengelolaan DAS yang buruk adalah terjadinya bencana seperti banjir dan tanah longsor.

Bencana adalah gangguan besar yang memengaruhi fungsi suatu komunitas atau masyarakat, yang dapat menyebabkan hilangnya nyawa, kerugian materi, dampak ekonomi, atau kerusakan lingkungan, dan melebihi kemampuan masyarakat untuk mengatasinya (Pratiwi & Santosa, 2021). Salah satu contoh bencana adalah banjir, yang terjadi ketika area yang biasanya kering terendam air akibat hujan deras dan kondisi daerah yang rendah. Banjir juga bisa disebabkan oleh tanah yang tidak mampu menyerap air dengan baik, serta limpasan air permukaan yang melebihi kapasitas saluran drainase atau sungai (Rizkiyah et al., 2015).

Di Indonesia, terjadi 22.435 peristiwa banjir. Akibatnya, 22.415 orang meninggal, 8.194 orang hilang, 269.737 orang luka-luka, dan 33.290.124 orang menderita. Selain itu, 8.103.156 orang mengungsi, sehingga total korban yang terdampak banjir mencapai 41.693.626 orang (Dibi.bnppb.go.id, 2024). Banjir menjadi bencana alam yang paling sering terjadi dengan kerugian yang tidak kecil dan berdampak luas. Banjir adalah bencana alam yang paling sering terjadi dengan kerugian besar dan dampak luas. Masalah banjir di Indonesia, terutama di daerah perkotaan yang merupakan wilayah hilir dari Daerah Aliran Sungai (DAS), sudah menjadi hal yang biasa. DAS Saddang terdiri dari dua sub utama: Sub DAS Mata Allo dan Sub DAS Saddang. Kedua sub DAS ini bertemu di ibukota Kabupaten Enrekang dan sering menyebabkan banjir. Pada Tahun 2024 ini telah terjadi bencana banjir yang terbilang parah di Kabupaten Enrekang dan sekitarnya. Kecamatan Enrekang dan Kecamatan Cendana merupakan daerah terdampak bencana tersebut yang dikelilingi oleh sungai-sungai, seperti Sungai Saddang dan Mata Allo. Berdasarkan data historis tercatat sebanyak 44 kejadian banjir di Kabupaten Enrekang dan Kabupaten Tana Toraja dalam beberapa tahun terakhir terhitung mulai dari tahun 2019 hingga 2024 menunjukkan tren yang meningkat (Siandalan.sulselprov.go.id, 2024), dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Grafik Kejadian Bencana Banjir di Kabupaten Enrekang dan Tana Toraja

Banjir menjadi isu prioritas lingkungan di berbagai daerah sebab historis kejadian yang semakin meningkat setiap tahun (Awaliyah et al., 2020). Secara garis besar, banjir terjadi akibat beberapa faktor diantaranya kondisi alam, peristiwa alam dan aktivitas manusia dan pola tata ruang yang tak sesuai, sistem drainase yang buruk, kurangnya tindakan mitigasi, minimnya kesadaran masyarakat sekitar sungai, tingginya tingkat eksploitasi hutan dan terbatasnya usaha pemeliharaan (Utama & Naumar, 2015). Eksploitasi hutan secara berlebihan dan perladangan liar menjadi kunci kerusakan di hulu. Tindakan ini secara nyata mengubah hutan yang harusnya menjadi wilayah perlindungan dan daerah resapan air menjadi hutan gundul. Beralihnya fungsi lahan membuat sumber air di hulu berkurang sehingga debit air yang mengalir ke hilir turut ikut berkurang dan berpotensi mengakibatkan kekeringan.

Penurunan jumlah pohon di hutan serta jenis kayu keras lainnya berdampak pada kemampuan kawasan untuk menahan dan mengatur aliran air, terutama saat musim hujan. Aliran air yang deras tidak dapat diatasi oleh hutan gundul. Hal ini mengakibatkan tanah longsor, yang menjadi bencana di wilayah hulu dan banjir yang akan sangat memengaruhi wilayah hilir (Juwono & Subagiyo, 2019). Pendapat lain mengatakan bahwa perubahan penutupan lahan yang dilakukan secara sengaja, akibat pertumbuhan populasi dan pembangunan, juga menjadi penyebab utama konversi lahan menjadi pemukiman. Hal ini meningkatkan aliran air permukaan dan mengurangi kemampuan tanah untuk menyerap air. Situasi ini bisa menyebabkan ketidakseimbangan aliran air selama musim hujan dan kemarau, yang berpotensi meningkatkan risiko banjir dan kekeringan. (Hilda & Yusdiana, 2022).

Kerusakan akibat banjir dan dampaknya sangat merugikan masyarakat, sehingga upaya untuk mengurangi risiko banjir menjadi sangat penting. Daerah dengan populasi padat lebih rentan terhadap banjir, dan dampaknya akan lebih besar dibandingkan daerah lain. (Rakuasa & Latue, 2023). Perlindungan terhadap

bencana alam di Indonesia masih kurang efektif dalam hal penurunan risiko bencana. Karena itu, perlu dilakukan langkah-langkah untuk mengurangi risiko tersebut. Salah satu strategi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menerapkan manajemen bencana yang baik, melalui pemodelan yang menunjukkan wilayah yang terpengaruh oleh banjir dan penyajian peta untuk daerah terdampak genangan banjir (Pratiwi & Santosa, 2021). Pemodelan dapat dilakukan melalui pemanfaatan teknologi dengan tujuan dapat memberikan peringatan dini akan bencana banjir (Yuandi, 2021).

Pemodelan banjir dapat memanfaatkan kinerja SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) dan HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*). Eksistensi SWAT sebagai *physically based model* masih sangat mendukung skenario pemodelan hidrologi dalam hal evaluasi dan membuat proyeksi pada berbagai ukuran DAS (Christanto et al., 2018; Indrastata et al., 2024). Menurut Neitsch et al. (2005) mengungkapkan bahwa SWAT digunakan untuk menilai bagaimana pengaruh pengelolaan lahan terhadap air, sedimen, dan bahan kimia pertanian dengan mempertimbangkan berbagai kondisi tanah dan penutupan lahan pada suatu daerah aliran sungai (Indrastata et al., 2024). Sedangkan HECRAS menjadi opsi untuk memodelkan aliran sungai dalam dua dimensi dan memvisualisasikan dinamika banjir (Nursaputa et al., 2024; Purba et al., 2024). SWAT berfokus pada analisis aliran dan kualitas air di Daerah Aliran Sungai, sementara HEC-RAS menganalisis pola aliran sungai dan model banjir secara lebih rinci. Keterlibatan keduanya dapat saling melengkapi dalam memahami dan memprediksi kejadian banjir.

## **1.2 Tujuan dan Kegunaan**

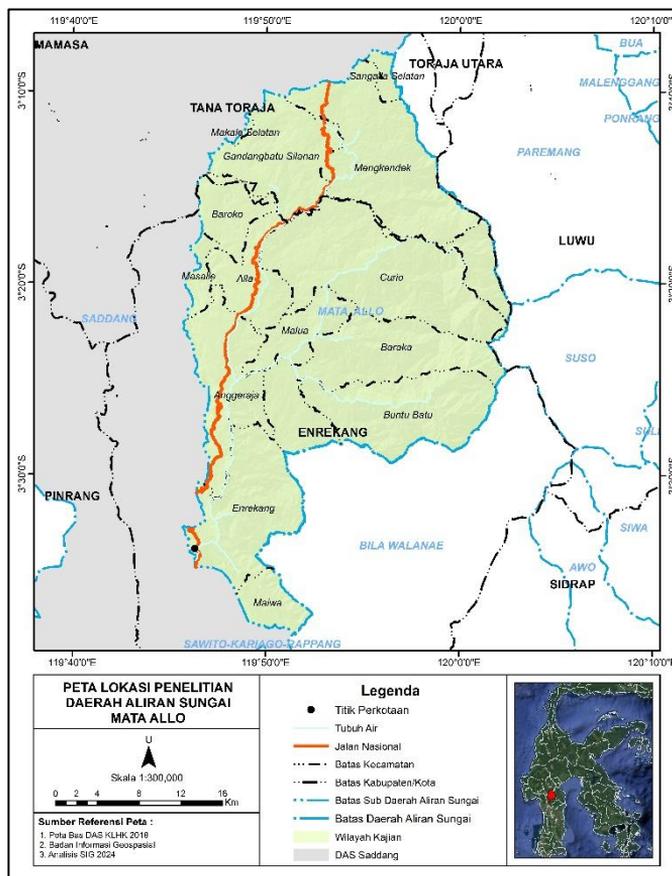
Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi sebaran daerah terdampak genangan banjir pada DAS Mata Allo menggunakan pemodelan hidrologi berbasis spasial. Kegunaan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui informasi aktual tentang lokasi daerah-daerah yang terindikasi terhadap bencana banjir dan pengembangan model hidrologi berbasis spasial pada daerah tersebut sebagai dasar informasi dalam pertimbangan dan perencanaan sistem pengurangan atau pengendalian banjir pada DAS Mata Allo.

## BAB II

### METODE PENELITIAN

#### 2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama bulan Juni 2024 – Maret 2025 melalui 4 tahapan kegiatan, yaitu studi literatur, penyiapan data, kegiatan lapangan serta analisis data. Studi literatur dan pengolahan data dilakukan di Laboratorium Perencanaan dan Sistem Informasi Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Sedangkan dengan kegiatan lapangan dilaksanakan di lokasi penelitian yakni di DAS Mata Allo yang merupakan Sub DAS Saddang. DAS Mata Allo mencakup Kabupaten Enrekang dan Tana Toraja, Sulawesi Selatan. Adapun lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

#### 2.2 Alat dan Bahan

##### 2.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Laptop (Spesifikasi *Intel (R) UHD Graphics 600*, Ram 4 GB, SSD 512 GB), digunakan untuk menjalankan program/software.
2. Perangkat lunak ArcGIS 10.4, Qgis 3.22.3, SiBias 1.1 dan HEC-RAS 6.0 digunakan untuk *output* dan visualisasi data.
3. *Microsoft Office*, digunakan untuk mengolah data dan menyusun draft.
4. *Avenza Maps*, digunakan untuk mencari titik di lapangan.
5. Alat tulis menulis, digunakan untuk mencatat hasil pengamatan.
6. Kamera, digunakan untuk dokumentasi.

### 2.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Bahan Penelitian

No.	Bahan	Kegunaan	Sumber
1.	Peta Batas DAS 2018	Sebagai bahan orientasi penetapan batas wilayah kajian	Direktur Jendral Pengendalian Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung
2.	Data DEM Nasional dan RBI 2024	Sebagai bahan analisis untuk delineasi batas DAS dan kemiringan lereng serta batas administrasi	Badan Informasi Geospasial ( <a href="#">Ina-Geoportal</a> )
3.	Citra Sentinel-2 2014, 2019, dan 2024 serta Citra SAS-Planet 2024	Sebagai bahan analisis untuk penutupan lahan	<i>Browser Data Space-Copernicus</i> ( <a href="#">Copernicus Data Space Ecosystem   Europe's eyes on Earth</a> ) dan GeoJamal ( <a href="#">SAS Planet</a> )
8.	Data Jenis Tanah	Sebagai <i>input</i> proses SWAT	Data Sistem Lahan ( <i>Landsystem</i> ) RePPPProT, Badan Koordinasi <i>Survey</i> dan Pemetaan Nasional Tahun 1987
6.	Data Iklim (meliputi data curah hujan/presipitas, kelembaban relatif, suhu udara, kecepatan angin, dan radiasi matahari) 2014-2023	Sebagai bahan analisis untuk menghasilkan masterdata sebagai <i>input</i> proses SWAT	<i>Power DAV</i> ( <a href="#">POWER   DAV</a> )

Lanjutan **Tabel 1.** Bahan Penelitian

No.	Bahan	Kegunaan	Sumber
7.	Data Debit Harian Sungai Mata Allo Tahun 2023	Sebagai bahan acuan untuk kalibrasi <i>output</i> SWAT	Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pompengan Jeneberang Sulawesi Selatan
8.	Data Titik Koordinat Banjir 2021-2024	Untuk validasi <i>ouput</i> HEC-RAS	Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Sulawesi Selatan ( <a href="#">Si Andalan BPBD Provinsi Sulawesi Selatan   Si-Andalan</a> )
9.	Data Kawasan Hutan 2021	Untuk menilai kondisi penutupan lahan hutan di wilayah kajian	Geoaccess Indonesia ( <a href="#">Geoaccess Indonesia – Geoscience Consultant</a> )

### 2.3 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan kajian literatur, kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data dan pengecekan data di lapangan. Proses pengolahan meliputi pengolahan data spasial dan numerik, uji akurasi, validasi data, hingga tahap akhir yaitu penyusunan draft.

#### 2.3.1 Penentuan Wilayah Kajian

Pemrosesan awal adalah menetapkan batas lokasi penelitian. Batas Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Mata Allo ditentukan dengan mengolah data Digital Elevation Model (DEM) yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial. Data dasar yang digunakan sebagai orientasi dalam penentuan wilayah kajian penelitian adalah batas DAS Saddang tahun 2018 dari Direktur Jendral Pengendalian Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung. Proses deliniasi dilakukan menggunakan *software* GIS, yaitu ArcGIS, untuk menghasilkan data topografi yang menunjukkan area yang mengalirkan curah hujan menjadi aliran permukaan di satu titik keluaran. Hasilnya adalah DAS Mata Allo, yang merupakan bagian dari DAS Saddang.

#### 2.3.2 Pengumpulan dan Penyiapan Data

**Data Digital Elevation Model (DEM).** DEM adalah gambaran bentuk permukaan bumi yang menunjukkan informasi ketinggian tanpa memperhatikan fitur alam atau buatan manusia. DEM sangat penting untuk perencanaan pembangunan nasional karena menjadi sumber data geospasial untuk berbagai keperluan, seperti analisis kebencanaan, hidrologi, kehutanan, dan infrastruktur (Sulistiana et al., 2019). Data DEM diunduh dari *platform* Badan Informasi Geospasial yang kemudian digunakan untuk melakukan proses deliniasi batas wilayah kajian, selain itu, data ini memuat data kemiringan lereng yang juga diperlukan dalam proses *running* model SWAT.

**Data Penutupan Lahan.** Informasi karakteristik penutupan lahan memengaruhi pembentukan genangan banjir dan laju infiltrasi. Maka, untuk memperoleh informasi tersebut perlu mengidentifikasi penutupan lahan yang ada di lokasi penelitian menggunakan citra (Kenranto et al., 2024). Citra satelit sering digunakan untuk mendeteksi penutupan lahan karena memiliki resolusi waktu yang baik dan mencakup area yang luas. Salah satu citra satelit yang bisa digunakan adalah sentinel-2, yang berguna untuk memantau lahan dan sebagai data dasar untuk berbagai aplikasi pemantauan dan perencanaan lingkungan (Awaliyan & Sulistyoadi, 2018).

Data citra satelit diolah berdasarkan kelas penutupan lahan yang ada sehingga dihasilkan data spasial berupa data vektor penutupan lahan. Klasifikasi penutupan lahan dari citra satelit bisa dilakukan secara manual (dengan digitasi di layar) atau otomatis. Klasifikasi manual pada citra resolusi tinggi biasanya menghasilkan akurasi yang baik (Bashit et al., 2019). Data penutupan lahan DAS Mata Allo diperoleh dari menginterpretasi citra sentinel-2 dengan metode digitasi *on screen* pada *software* Arcgis. Pengidentifikasian objek pada citra dilakukan dengan memperhatikan rona, warna, pola dan ukuran objek.

**Proyeksi Penutupan Lahan.** Tahap pemodelan dan proyeksi penutupan lahan dalam penelitian ini dilakukan menggunakan *plugin Modules for Land Use Change Evaluation* (MOLUSCE) dalam *software Quantum GIS* (QGIS). Proyeksi penutupan lahan untuk tahun 2034 diperoleh dengan memasukkan data penutupan lahan dari tahun 2014, 2019, dan 2024. Proses ini memanfaatkan sistem *Artificial Neural Network* (ANN) dan model *Cellular Automata* (CA) yang tersedia di QGIS. Simulasi dilakukan dengan menggunakan model CA. Perubahan penutupan lahan didasarkan pada kesesuaian lahan, penutupan lahan dari periode sebelumnya, dan penutupan lahan untuk periode yang akan datang. Proyeksi ini dibuat dengan anggapan bahwa perubahan di masa depan akan mengikuti pola yang mirip dengan perubahan yang terjadi selama periode yang dianalisis (Kubangun et al., 2016). Proses yang dilakukan adalah mempersiapkan dan mengolah data *input* dengan merasterisasi data-data vektor yaitu data penutupan lahan 2014, 2019 dan 2024 serta faktor pendorong seperti akses jalan. Menurut (Hapsary et al., 2021), pemodelan dan proyeksi melibatkan beberapa langkah sebagai berikut:

1. *Inputs*  
Memasukkan data peta penutupan lahan (awal dan akhir) serta faktor pendorong, lalu memeriksa geometri antar data raster.
2. *Evaluating Correlation*  
Tahap ini digunakan untuk melihat hubungan antara variabel pendorong menggunakan *Pearson's Correlation*.
3. *Area Change*  
Di tahap ini, dibuat tabel yang menunjukkan perubahan luas setiap jenis penutupan lahan dan matriks transisi yang menunjukkan peluang perubahan tersebut.
4. *Transition Potential Modelling*

Ada dua metode yang digunakan, yaitu *Artificial Neural Network* (ANN) dan regresi logistik (LR). Metode ANN menggunakan parameter seperti *neighborhood* 1 px, learning rate 0,01, momentum iteration 100, dan *hidden layer* 3. Metode LR menggunakan parameter seperti *maximum iteration* 100, *neighborhood* 1 px, dan 1000 sampel acak.

5. *Cellular Automata Simulation*

Ini adalah tahap pembuatan model penutupan lahan dengan rumus:

$$t_2 = t_1 + (t_1 - t_0) \quad (1)$$

Keterangan:

$t_2$  : tahun prediksi

$t_1$  : tahun akhir

$t_0$  : tahun awal

Dalam penelitian ini, tahun awal adalah 2014, tahun akhir 2019, jadi tahun proyeksi yang dihasilkan adalah 2024. Jika ingin memproyeksi tahun 2029, iterasi menjadi 2 kali, dan untuk tahun 2034 menjadi 3 kali.

6. *Validation*

Validasi model diperlukan untuk mengecek keakuratan proyeksi. Menurut Altman (1991), nilai akurasi kappa 0,81–1,00 menunjukkan kesepakatan sangat baik, 0,61–0,80 baik, 0,41–0,60 sedang, 0,21–0,40 kurang dari sedang, dan <0,20 buruk (Hapsary et al., 2021).

**Data Jenis Tanah.** Terdapat beberapa faktor penyebab terjadinya banjir pada suatu daerah salah satunya adalah jenis tanah. Jenis tanah memiliki dampak signifikan terhadap proses infiltrasi. Jenis tanah sangat memengaruhi proses infiltrasi. Tanah yang halus biasanya memiliki tingkat infiltrasi yang rendah, sehingga mengakibatkan peningkatan aliran permukaan (*runoff*) (Heryani, 2013) dalam (Kusumo & Nursari, 2016). Selain data iklim dan data penutupan lahan, data jenis tanah menjadi salah satu *input* utama untuk dalam proses *modelling* SWAT (Yanti et al., 2017). Data jenis tanah diperoleh dari sistem lahan (landsystem) Program Perencanaan Fisik Regional untuk Transmigrasi (RePPPProt) yang diterbitkan oleh Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional pada tahun 1987. Model SWAT memerlukan input data tanah, termasuk jenis tanah dan parameter fisik serta kimia tanah. Untuk memenuhi kebutuhan ini, dilakukan analisis untuk mendapatkan parameter data tanah. Pendekatan yang digunakan adalah mengekstrak informasi tanah dari peta RePPPProt dan menggabungkannya dengan informasi dari Web *Soil USDA Natural Resource Conservation Service*.

**Data Iklim.** Dampak perubahan iklim adalah salah satu masalah paling serius yang dihadapi masyarakat di seluruh dunia. Salah satu akibatnya adalah semakin sering, luas, dan hebatnya kejadian ekstrem di abad ke-21. Berbagai masalah muncul akibat cuaca dan iklim yang ekstrem, seperti banjir, tanah longsor, kekeringan, wabah penyakit, masalah kesehatan, gagal panen, dan kerawanan sosial (So'langi & Fatony, 2019).

Untuk menjalankan model SWAT, salah satu data yang diperlukan adalah data iklim. Data iklim ini berupa data harian yang mencakup curah hujan, suhu maksimum

dan minimum, kelembaban relatif, kecepatan angin, dan radiasi matahari (Yanti et al., 2017). Data iklim diunduh dari *platform* NASA dengan variabel data yang meliputi data curah hujan/presipitasi, data kelembaban relatif, data suhu udara maksimum dan minimum, data kecepatan angin dan data radiasi matahari dalam interval waktu 10 tahun terakhir. Data-data tersebut diolah dan selanjutnya dilakukan manajemen *master data* sebagai bahan *running* model SWAT.

**Data Curah Hujan.** Data curah hujan yang telah diperoleh dari NASA kemudian diolah dengan memperhitungkan rata-rata curah hujan dalam kurun waktu yang ditentukan menggunakan *software* Excel yang selanjutnya akan di-input ke *software* Arcgis untuk dianalisis kembali agar memperoleh data spasial melalui metode *polygon thiesen* untuk mendapatkan pola tingkat curah hujan di wilayah yang diteliti.

**Proyeksi Curah Hujan.** Pemanasan global diperkirakan akan memberikan dampak negatif di berbagai sektor, termasuk lingkungan dan sosial-ekonomi. Dampak perubahan iklim terhadap risiko hidrometeorologi akan mengubah frekuensi serta tingkat keparahan kejadian ekstrem dalam periode yang lama maka bukan saja risiko saat ini, perencanaan jangka panjang juga akan menjadi pertimbangan untuk proyeksi risiko di masa yang akan datang (Suwarman et al., 2022).

Menurut Bappenas (2014), proyeksi curah hujan membantu dalam memperkirakan ketersediaan air di masa depan, sehingga bisa dimanfaatkan dengan baik dan menghindari bencana. Menurut Arifin (2019), penting untuk mengetahui kondisi curah hujan agar perencanaan bisa dilakukan dengan baik (Hidayat & Haryanto, 2023).

Proyeksi dilakukan menggunakan program SiBias khususnya pada variabel curah hujan. Penyesuaian terhadap *input-an* data dilakukan berdasarkan format penyusunan data yang telah ditentukan, program akan membaca data observasi yang telah dimasukkan dan secara otomatis menghitung tahun proyeksi yang akan dihasilkan. Menurut salah satu penelitian menyebutkan bahwa skenario iklim adalah metode untuk memproyeksikan kondisi iklim di masa depan dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang memengaruhi iklim. Untuk tujuan ini, Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) telah membentuk badan khusus bernama Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) untuk mempelajari iklim (Surmaini & Faqih, 2016). Menurut Moss et al., 2008; 2010, laporan AR5 IPCC menggunakan skenario perubahan iklim terbaru yang disebut *Representative Concentration Pathways* (RCP). Skenario RCP memberikan informasi lengkap tentang perkiraan perubahan radiasi di masa depan (Surmaini & Faqih, 2016). Dalam penelitian ini proyeksi dilakukan dengan metode delta yaitu metode *statistical downscaling* yang paling sederhana dan umum digunakan dalam penyusunan scenario perubahan iklim untuk skala local (Faqih & Listyarini, 2021) yaitu menggunakan skenario RCP4.5 dan GCM CSIRO Mk3.6.0 sehingga diperoleh delta antara observasi dan proyeksi. Delta perubahan ini yang selanjutnya digunakan dalam proses *Edit SWAT Input* agar menghasilkan data proyeksi debit sesuai tahun yang diinginkan.

### 2.3.3 Pengecekan Data Lapangan

Langkah selanjutnya setelah melakukan pengklasifikasian tutupan lahan secara *digitasi on screen*, maka perlu dilakukan kegiatan pencocokan data untuk menguji keakuratan data. Uji lapangan dilakukan untuk membandingkan hasil citra yang telah dianalisis untuk melihat apakah ada perubahan lahan dalam bidang kajian (Pahleviannur, 2019). Pengujian dilakukan dengan metode *ground check* dan *ground truth* berdasarkan jumlah titik sampel yang telah dipilih. Pemilihan jumlah lokasi titik sampel dilakukan secara spesifik dan disesuaikan pada setiap kelas penutupan lahan atas dasar pertimbangan jumlah masing-masing poligon penutupan lahan. Dalam penelitian ini, digunakan metode stratified random sampling karena teknik ini membagi populasi menjadi subkelompok yang serupa. Setelah itu, sampel diambil secara acak dari setiap subkelompok dengan memperhatikan kondisi akses di lapangan (Ulya et al., 2018). Adapun rumus yang digunakan adalah rumus slovin dalam penentuan jumlah sampel mengacu pada Dian & Priyono, 2021 (Ginanjari et al., 2023), sebagai berikut:

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (2)$$

Keterangan: n = Jumlah sampel  
N = Jumlah *polygon* tiap kelas  
e = Batas toleransi kesalahan (*margin of error*)

Pada penelitian ini menggunakan 10 kelas penutupan lahan dan masing-masing kelas memiliki titik koordinat perwakilan yang menjadi sampel kemudian dilakukan validasi melalui survei lapangan. Dengan menggunakan Rumus Slovin, total jumlah titik sampel adalah sebanyak 255 titik yang menyebar mewakili kelas penutupan yang ada. Survei dilakukan dengan mengambil titik koordinat dan gambar pada setiap jenis penutupan lahan di lapangan dengan mempertimbangkan aksesibilitas lokasi agar peneliti dapat mengambil data lapangan secara efisien dalam hal waktu dan tenaga. Selain itu dilakukan pula pengecekan hasil interpretasi citra melalui *Google Earth Pro* (*ground truth*) untuk kelas penutupan lahan yang sulit dijangkau seperti beberapa titik hutan lahan kering primer. Peta sebaran titik sampel dapat dilihat pada Lampiran 1.

### 2.3.4 Uji Akurasi

Pengujian ketelitian hasil klasifikasi bertujuan untuk mengidentifikasi kesalahan klasifikasi dan mengetahui persentase akurasi hasilnya. Akurasi diuji dengan membuat matrik kontingensi, yang juga dikenal sebagai matrik kesalahan atau matrik konfusi (Bashit et al., 2019).

Setelah mendapatkan data dari matrik konfusi, langkah selanjutnya adalah menghitung akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) dan *kappa accuracy* (nilai indeks *kappa*). Nilai *kappa* menurut Bhisma Murti (1997), nilai  $K > 0,75$  menunjukkan kesepakatan sangat baik, bila nilai  $K = 0,04-0,75$  menunjukkan kesepakatan baik dan bila nilai  $K < 0,40$  menunjukkan kesepakatan lemah (Pahleviannur, 2019). Persamaan *kappa accuracy* dan tabel *confusion matrix* sebagai berikut.

**Tabel 2.** Matrik Konfusi (*Confusion Matrix*)

	Data Acuan (Pengecekan Lapangan)			Total Kolom
	A	B	C	
Data Hasil Klasifikasi Citra	A'	X <sub>n</sub>		Σ <sub>n+</sub>
	B'			
	C'		X <sub>n</sub>	
Total Baris		Σ <sub>+n</sub>		N

Keterangan:

- A, B, C = Data acuan
- A', B', C' = Data hasil klasifikasi citra
- X<sub>n</sub> = Data yang diuji
- ΣX<sub>n</sub> = Jumlah masing-masing data acuan/klasifikasi citra
- N = Total data yang diuji

Sedangkan rumus akurasi kappa adalah sebagai berikut (Novianti et al., 2024):

$$\text{Kappa accuracy} = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum X_{i+} X_{+i}} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

- X<sub>ii</sub> : Nilai diagonal dari matrix kontingensi baris ke – i dan kolom ke – i
- X<sub>+i</sub> : Jumlah piksel dalam kolom ke-i
- X<sub>i+</sub> : Jumlah piksel baris ke-i
- N : Banyaknya piksel yang diuji (total)

## 2.4 Analisis Data

### 2.4.1 Data Kemiringan Lereng

Data keterangan merupakan hasil dari proses di *software* Arcgis dengan menganalisis data spasial dengan menggunakan data raster DEM yang kemudian diklasifikasikan kedalam kelas lereng yang umum digunakan. Kelas kemiringan lereng terbagi menjadi 5 kategori, yaitu: 0-8% (Datar), 8- 24 15% (Landai), 15-25% (Agak curam), 25-40% (Curam), dan >45% (Sangat curam) (Rakuasa & Latue, 2023) untuk selanjutnya disajikan dalam bentuk peta kemiringan lereng sebagai informasi kondisi topografi di lokasi penelitian. Data kemiringan lereng ini juga akan menjadi *input* awal pada model SWAT yaitu tahap Delineasi.

### 2.4.2 Data Penutupan Lahan

Selain data kemiringan lereng, data penutupan lahan juga menjadi *input* utama dalam model SWAT pada penelitian ini. Data penutupan lahan yang diperoleh dari analisis citra telah diuji akurasi dan siap digunakan untuk pemodelan SWAT. Berikut adalah klasifikasi penutupan lahan (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Nomor 399 Tahun 2024, 2024) dan klasifikasi kode SWAT untuk menjalankan proses SWAT dapat dilihat pada tabel 3 (Agung et al., 2018; Saputri et al., 2023).

**Tabel 3.** Klasifikasi Penutupan Lahan Model SWAT

No.	Klafifikasi Penutupan Lahan	Kode SWAT
1.	Hutan Lahan Kering Primer	FRST
2.	Hutan Lahan Kering Sekunder	FRST
3.	Hutan Mangrove Primer	WETF
4.	Hutan Mangrove Sekunder	WETF
5.	Hutan Rawa Primer	WETF
6.	Hutan Rawa Primer	WETF
7.	Hutan Tanaman	FRSE
8.	Pertanian Lahan Kering	AGRL
9.	Pertanian Lahan Kering Campur Semak	AGRL
10.	Sawah	RICE
11.	Perkebunan	ORCD
12.	Semak Belukar	RNGB
13.	Semak Belukar Rawa	WETL
14.	Savana/Padang Rumput	PAST
15.	Tanah Terbuka	OAK
16.	Tambak	WATR
17.	Pemukiman	URBN
18.	Transmigrasi	URDL
19.	Pertambangan	OAK
20.	Rawa	WATR
21.	Tubuh Air	WATR
22.	Bandara	UTRN
23.	Pelabuhan	UTRN
24.	Awan	RNGE

#### 2.4.3 Data Jenis Tanah

Data jenis tanah yang digunakan berasal dari sistem lahan *OpenLandMap Soil Texture Class* (Sistem USDA) pada kedalaman 0 cm. Dalam model SWAT, diperlukan data tentang jenis tanah serta parameter fisik dan kimia tanah. Untuk memenuhi kebutuhan ini, dilakukan analisis untuk mendapatkan parameter data tanah. Pendekatan yang digunakan adalah mengekstraksi informasi tanah dari peta Sistem USDA. Parameter jenis tanah yang diperlukan untuk menjalankan SWAT dapat dilihat di Tabel 4.

**Tabel 4.** Parameter Jenis Tanah Model SWAT

No.	Parameter Tanah	Kode SWAT
1.	Jumlah Lapisan Tanah	NLAYERS
2.	Kelompok Hidrologi Tanah	HYDGRP
3.	Kedalaman Akar Tanaman (mm)	SOL_ZMX
4.	Porositas Tanah (fraction)	ANION_EXCL
5.	Volume Retak Tanah ( $m^3/m^3$ )	SOL_CRK

Lanjutan **Tabel 4.** Parameter Jenis Tanah Model SWAT

No.	Parameter Tanah	Kode SWAT
6.	Tekstur	TEXTURE
7.	Kedalaman Tanah (mm)	SOL_Z
8.	Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	SOL_BD
9.	Kapasitas air tersedia (mm/mm)	SOL_AWC
10.	Kadar C Organik (%)	SOL_CBN
11.	Konduktivitas Hidrolik Jenuh (mm/hari)	SOL_K
12.	Persentase Liat (%)	CLAY
13.	Persentase Debu (%)	SILT
14.	Persentase Pasir (%)	SAND
15.	Persentase Batu Permukaan (%)	ROCK
16.	Albedo Tanah (fraction)	SOL_ALB
17.	Erodibilitas Tanah	USLE_K
18.	Konduktivitas Listrik (ds/m)	SOL_EC
19.	Kalsium Karbonat (%)	SOL_CAL
20.	Ph	SOL_PH

#### 2.4.4 Analisis Hidrologi DAS

**Delineasi Sub DAS.** Proses delineasi Sub DAS dilakukan melalui menu SWAT dengan memilih Delineate Watershed. Langkah pertama adalah memasukkan peta DEM dan mengatur proyeksinya, kemudian menambahkan data sungai yang ada. Setelah kedua data tersebut dimasukkan, langkah berikutnya adalah mendefinisikan jaringan sungai berdasarkan DEM. Setelah jaringan sungai terbentuk, ditentukan titik outlet yang akan digunakan untuk mengamati debit. Terakhir, model akan melakukan delineasi wilayah berdasarkan topografi (DEM), jaringan sungai, dan titik outlet yang telah ditentukan. *Output* yang diperoleh dari tahapan awal ini adalah batas-batas Sub pada DAS yang dikaji (Purwitaningsih & Pamungkas, 2017).

**Pembentukan dan Pendefinisian *Hydrological Response Unit (HRU)*.** Pada tahap ini dilakukan pengelompokan kombinasi dari karakteristik penutupan lahan, jenis tanah, dan kemiringan lereng untuk membentuk unit dasar hidrologi. Tahap ini sama dengan proses *overlay* sehingga HRU akan terdefinisi berdasarkan sub-sub DAS yang telah terbentuk dari proses sebelumnya. Substansi dari HRU mencakup informasi tentang nomor HRU, jenis penutupan lahan, jenis tanah, dan luas HRU (Yanti et al., 2017). Dalam hal ini, opsi yang dipilih adalah Multiple HRUs, sehingga semua HRU diperhitungkan dalam analisis. Selain itu, ambang batas yang digunakan adalah 0%, yang berarti semua variabel terkait penutupan lahan, jenis tanah, dan kemiringan lereng diperhitungkan dalam pembentukan HRU (Purwitaningsih & Pamungkas, 2017). Pemasukan data dilakukan sebanyak 2 kali yaitu data HRU tahun 2024 dan HRU proyeksi tahun 2034.

**Input Data Iklim Harian.** Penggabungan data iklim dengan data HRU dilakukan setelah HRU selesai dibentuk. Input data iklim dilakukan dengan

memanggil file WGN (Weather Generator Data) yang telah disiapkan sebelumnya. Data dikumpulkan dalam file PCP untuk curah hujan, TEMP untuk suhu udara, RH untuk kelembaban udara, WIND untuk kecepatan angin, dan SOLAR untuk radiasi matahari, semua dengan ekstensi .txt. Proses simulasi dijalankan berdasarkan periode harian. Data yang perlu dimasukkan pada tahap ini meliputi curah hujan (mm), kelembaban relatif (%), suhu maksimum dan minimum (°C), kecepatan angin (m/s), dan radiasi matahari (MJ/m<sup>2</sup>/hari) yang diperoleh dari NASA antara tahun 2014 hingga 2023. Data tersebut diolah dan dimasukkan ke dalam Weather Generator Database (Wgen User) agar dapat diproses oleh SWAT.

**Running QSWAT dan Output Simulasi.** Proses simulasi dilakukan dengan *running* SWAT setelah mendapatkan *output* dari proses penggabungan HRU dengan data iklim. *Running* model SWAT dijalankan pada menu SWAT *Simulation* dengan syarat tahapan *Delineate Watershed*, *Create HRUs* dan *Edit Inputs and Run SWAT* telah selesai dijalankan dengan sukses, tahapan ini dilakukan sebanyak 2 kali dengan data aktual dan data proyeksi. Setelah tahapan *running* telah selesai dilaksanakan, *Output* yang dihasilkan ialah data RCH. Informasi yang terdapat dalam data RCH adalah hasil debit air dengan kode *FLOW\_OUT* yang dapat dikeluarkan dengan menggunakan sub menu *read SWAT output*. Pada penelitian ini data yang dibutuhkan ialah data debit air dengan kode *FLOW\_OUT*, hasil dari simulasi disimpan untuk kebutuhan analisis berikutnya.

**Kalibrasi dan Validasi Model.** Proses kalibrasi memiliki tujuan utama untuk mendekati hasil *output* dari model dengan nilai yang sebenarnya pada wilayah DAS kajian. Untuk mencapai hal ini, dilakukan penyesuaian pada beberapa parameter sensitif yang memiliki dampak signifikan terhadap nilai hasil simulasi. Pengujian kalibrasi dilakukan dengan menggunakan metrik evaluasi, termasuk Koefisien Determinasi ( $R^2$ ) dan *Indeks Nash-Sutcliffe* (NSI) (Surahman, 2017).

Koefisien Determinasi ( $R^2$ ) digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana nilai hasil simulasi model SWAT mendekati nilai observasi yang diasumsikan sebagai representasi terdekat kondisi lapangan sesungguhnya. Nilai  $R^2$  yang rendah menunjukkan bahwa variabel simulasi hanya sedikit menjelaskan variabel observasi. Jika koefisien determinasi sama dengan nol, berarti variabel simulasi tidak memengaruhi variabel observasi. Sebaliknya, jika  $R^2$  mendekati 1, ini berarti variabel simulasi sangat berpengaruh pada variabel observasi. Dengan menggunakan model ini, kesalahan pengganggu harus diminimalkan agar  $R^2$  mendekati 1, sehingga hasil regresi lebih akurat (Khotijah et al., 2020; Pribadi et al., 2020). Untuk NSE, nilainya berkisar antara  $-\infty$  hingga 1, dengan NSE = 1 sebagai nilai terbaik. Nilai antara 0 dan 1 umumnya menunjukkan bahwa kemampuan model dalam melakukan simulasi dapat diterima (Staddal, 2016).

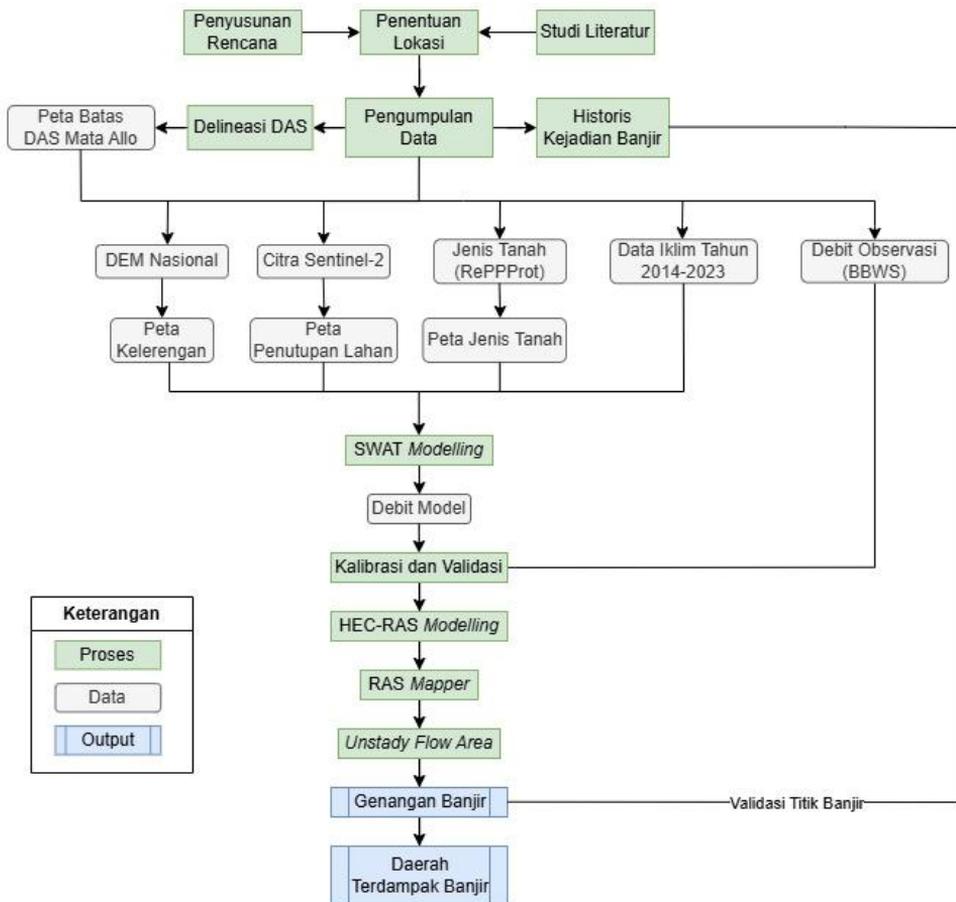
NSI digunakan untuk menilai kinerja model dalam analisis SWAT melalui plot dan grafik. Hasil evaluasi ini memberikan gambaran sejauh mana model dapat mereproduksi kondisi hidrologis di Daerah Aliran Sungai (DAS). Model SWAT mampu menghasilkan simulasi yang mendekati kondisi nyata di lapangan, dan evaluasi dengan metode seperti  $R^2$  dan NSI memberikan ukuran objektif tentang kinerja model tersebut.

#### 2.4.5 Pemodelan Banjir Menggunakan HEC-RAS

Kajian berbasis keruangan tidak bisa dipisahkan dari peran Sistem Informasi Geografis (SIG) sebagai alat pendukung. Metode dalam SIG dapat dimanfaatkan secara efektif untuk pemodelan banjir, yang memungkinkan pemrosesan, manajemen, dan interpretasi berbagai jenis data. Penggunaan perangkat lunak analisis hidrologi seperti HEC-RAS memudahkan proses pemodelan banjir (Pratiwi & Santosa, 2021). Simulasi banjir dijalankan dengan mengatur periode waktu dan besaran waktu keluaran data yaitu harian, bulanan, atau tahunan. Pada penelitian ini run HEC-RAS dijalankan pada periode harian. Adapun tahapan dalam simulasi yaitu:

1. Penyiapan data *terrain* di *ras mapper* bertujuan untuk membuat gambar dan sistem proyeksi, menghasilkan gambar yang terproyeksi sesuai dengan lokasi penelitian.
2. Penyiapan area aliran 2 dimensi bertujuan untuk membuat mesh dengan menggambar poligon tertutup di sekitar daerah aliran sungai. Ukuran *mesh* ditentukan dengan menghasilkan titik-titik pada interval reguler, dan jumlah sel mesh tergantung pada ukuran grid yang digunakan.
3. Penyiapan *boundary condition* bertujuan untuk menetapkan batasan di hulu dan hilir simulasi menggunakan garis BC area SA/2D, menghasilkan batas *upstream* dan *downstream*.
4. Pengisian nilai *manning* menggunakan data tutupan lahan.
5. Pemilihan skenario aliran bertujuan untuk menentukan skenario yang akan digunakan dalam simulasi. Dalam penelitian ini, dipilih skenario aliran tak permanen (*unsteady flow*).
6. Pemasukan data *unsteady flow* yaitu data debit sungai model yang dihasilkan dari model hidrologi SWAT dimasukkan. Proses running dilakukan untuk melakukan simulasi dan menghasilkan model genangan yang mungkin terjadi.

Penelitian ini berfokus pada penurunan kualitas Daerah Aliran Sungai (DAS) yang dipengaruhi oleh faktor penutupan lahan. Pertumbuhan populasi berkontribusi pada peningkatan pembangunan wilayah, yang pada gilirannya meningkatkan kebutuhan lahan. Perubahan penutupan lahan yang tidak memperhatikan aspek konservasi tanah dan air dapat mengakibatkan kerusakan pada DAS, termasuk erosi dan terbentuknya lahan kritis, yang berdampak negatif pada aliran air. Pendekatan pengelolaan DAS bertujuan untuk mengurangi aliran air selama musim hujan dan meningkatkan aliran air di musim kemarau, yang dapat mengatasi masalah erosi. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan meningkatkan infiltrasi air hujan ke dalam tanah di seluruh kawasan DAS. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan penutupan lahan yang baik untuk mencegah penambahan lahan kritis. Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Diagram Alir Penelitian