

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banjir merupakan bencana alam yang membahayakan kehidupan manusia karena dapat terjadi kapan saja dan mengakibatkan kerugian besar, seperti kerusakan bangunan, kehilangan harta benda, serta gangguan aktivitas masyarakat (Nikmah et al., 2022). Penyebab banjir dapat berasal dari faktor alam seperti curah hujan, topografi, dan kondisi geografis wilayah, maupun akibat aktivitas manusia seperti alih fungsi lahan dan pembangunan yang tidak memperhatikan daya dukung lingkungan (Rosyidie, 2013; Setiawan et al., 2020). Setiap musim hujan, banjir terjadi secara berulang dan mencakup lebih banyak wilayah yang sebelumnya tidak terdampak (Somantri, 2008). Oleh karena itu, pemetaan wilayah rawan banjir sangat penting untuk dilakukan sebagai langkah awal dalam upaya mengantisipasi kerugian yang dapat disebabkan oleh banjir (Apriani, 2018). Setelah wilayah rawan teridentifikasi, maka langkah selanjutnya adalah merancang strategi mitigasi yang tepat dan berbasis data. Mitigasi bencana banjir bertujuan untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan, baik terhadap lingkungan maupun masyarakat. Dalam Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, mitigasi diartikan sebagai serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun melalui penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana (Mardikaningsih et al., 2017).

Kerawanan banjir pada suatu wilayah tidak hanya dipengaruhi oleh curah hujan yang tinggi, tetapi juga oleh berbagai faktor yang saling berkaitan. Beberapa faktor penting yang menjadi penyebab terjadinya banjir di Indonesia meliputi kemiringan lereng dan ketinggian suatu wilayah, jenis tanah dan penggunaan lahannya, kepadatan sungai, dan tingginya intensitas curah hujan. Faktor-faktor ini dapat meningkatkan tingkat kerawanan suatu daerah terhadap bencana banjir (Darmawan et al., 2017). Selain itu, indeks kelembapan topografi atau *Topographic Wetness Index* (TWI) juga dapat digunakan secara efektif dalam mengidentifikasi wilayah rawan banjir dengan memetakan daerah yang tergenang air (Aksoy et al., 2016). Penelitian ini menggunakan sembilan faktor yang telah terbukti relevan dalam memengaruhi kerawanan banjir, mencakup kondisi fisik, geologis, hidrologis, dan penggunaan lahan. Pemilihan faktor ini didasarkan pada referensi ilmiah dan kesesuaian dengan karakteristik wilayah DAS Awo.

Salah satu wilayah yang rawan terhadap banjir adalah Daerah Aliran Sungai (DAS) Awo. Berdasarkan batas administrasi wilayah, DAS Awo meliputi Kabupaten Sidrap (Sidenreng Rappang), Enrekang, dan Wajo, Provinsi Sulawesi Selatan. Dilihat dari peta topografi, hulunya berada di Kabupaten Sidrap dan hilirnya berada di Kabupaten Wajo. Dari ketiga wilayah tersebut, Kabupaten Wajo merupakan yang paling terdampak ketika terjadi banjir. Hal ini diperkuat oleh pemberitaan di media lokal yang menunjukkan bahwa wilayah ini termasuk langganan banjir, dan kejadian banjir diperparah oleh curah hujan tinggi serta kiriman air dari daerah tetangga (Gunawan, 2019).

Berdasarkan data historis dari Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI), Provinsi Sulawesi Selatan mengalami peningkatan jumlah kejadian banjir dalam beberapa tahun terakhir. Tahun 2024 tercatat sebagai tahun dengan jumlah kejadian banjir tertinggi, yaitu

90 kejadian. Sementara itu, tahun 2019 menunjukkan angka yang relatif lebih rendah, yaitu 46 kejadian. Tahun 2019 dan 2024 digunakan sebagai titik pembandingan untuk melihat perubahan tingkat kerawanan banjir secara spasial dalam rentang waktu enam tahun terakhir. Tahun 2024 dipilih karena merupakan tahun terbaru dengan jumlah kejadian banjir tertinggi di tingkat provinsi, sedangkan tahun 2019 digunakan sebagai titik awal perbandingan. Rentang waktu tersebut dipilih karena dalam periode 5–6 tahun biasanya telah terjadi perubahan signifikan pada faktor-faktor fisik dan penggunaan lahan yang dapat memengaruhi kerawanan banjir. Seperti yang dikatakan (Doho et al., 2022), setiap perubahan penggunaan lahan dalam rentang 5-10 tahun berdampak langsung pada pola dan tingkat kerentanan banjir, terutama di area dataran rendah dan dekat saluran air.

Seiring berkembangnya teknologi pemodelan spasial, berbagai metode telah digunakan dalam pemetaan kerawanan banjir pada penelitian sebelumnya (Bachri et al., 2021). Salah satu pendekatan yang berkembang adalah pemodelan menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN). ANN merupakan metode pemrosesan informasi yang meniru cara kerja sistem saraf manusia dan mampu membentuk pola hubungan antar variabel dari data yang kompleks (Haykin (2009) dalam Gessang (2020); Rizaldi et al., 2021). Penggunaan ANN dalam studi kebencanaan telah terbukti menghasilkan tingkat akurasi tinggi dalam memprediksi daerah berisiko tinggi, termasuk dalam kasus banjir (Panjaitan et al., 2021). Oleh karena itu, metode ANN dipilih dalam penelitian ini karena mampu memetakan hubungan kompleks antar faktor penyebab banjir. Selain itu, penggunaan ANN untuk membandingkan tingkat kerawanan banjir antar waktu di wilayah DAS Awo masih jarang dilakukan.

Dalam konteks pemetaan banjir, kombinasi antara ANN dan Sistem Informasi Geografis (SIG) memungkinkan analisis spasial yang lebih akurat. SIG dapat digunakan untuk memvisualisasi dan menganalisis data spasial, seperti data citra, data demografi, dan data iklim, untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis lokasi. SIG juga dapat menjadi parameter dalam sistem peringatan dini untuk bencana banjir (Gofur et al., 2015).

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai potensi kerawanan banjir di DAS Awo dengan menerapkan metode ANN. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor penyebab banjir serta memetakan tingkat kerawanan secara spasial dan membandingkan kondisi tahun 2019 dan 2024. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi yang akurat sebagai dasar pengambilan kebijakan mitigasi yang lebih tepat sasaran, serta menjadi acuan dalam pengelolaan risiko dan tanggap darurat bencana banjir. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan menjadi landasan ilmiah dan praktis dalam upaya pengurangan risiko banjir di DAS Awo secara berkelanjutan.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui daerah sebaran wilayah terdampak banjir
2. Mengetahui faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap terjadinya banjir

3. Memetakan dan membandingkan sebaran spasial tingkat kerawanan banjir, dengan menggunakan model *Artificial Neural Network* (ANN), di DAS Awo pada tahun 2019 dan 2024
4. Merumuskan arahan mitigasi banjir berdasarkan hasil pemetaan tingkat kerawanan

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai informasi dasar bagi masyarakat sekitar dalam upaya memahami tingkat kerawanan banjir dan menjadi bahan dasar bagi instansi terkait dalam upaya menganalisis faktor-faktor penyebab banjir, serta mengenali daerah-daerah yang rawan terkena banjir melalui peta.

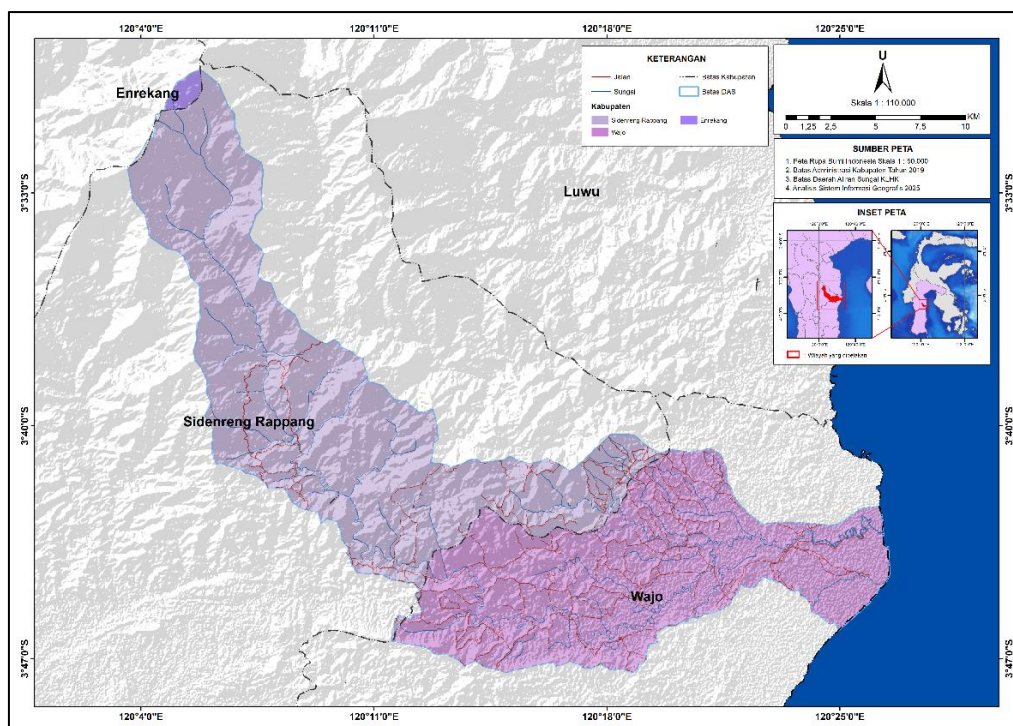
BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni 2024 - Juni 2025. Analisis data dilakukan di Laboratorium Perencanaan dan Sistem Informasi Kehutanan Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Makassar. Lokasi penelitian ini berada di DAS Awo yang memiliki luas sekitar 41.725,10 ha. Secara administratif, DAS Awo berada di 3 kabupaten, dengan perincian luas seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 1**, dan peta lokasi diperlihatkan pada **Gambar 1**.

Tabel 1. Luasan wilayah DAS Awo

No	Kabupaten	Luas	
		Ha	Persentase (%)
1	Sidenreng Rappang	23.303,56	55,85
2	Wajo	18.111,18	43,41
3	Enrekang	310,36	0,74
Total		41.725,10	100,00



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop (Spesifikasi Core i5 -12450H, RAM 16 GB, SSD 512 GB) untuk menjalankan program/aplikasi yang memiliki Sistem Informasi Geografis (SIG) yaitu ArcGIS dan *Sentinel Application Platform* (SNAP).
2. Perangkat lunak statistik, jenis *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) dan *Microsoft Office* digunakan untuk menganalisis data statistik.
3. Aplikasi *Offline Maps* digunakan untuk mencari titik *ground check* di lapangan.
4. Alat tulis menulis digunakan untuk mencatat hasil kegiatan.
5. *Smartphone* digunakan untuk mendokumentasikan kegiatan.

2.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas peta, data DEMNAS, dan citra, yang rinciannya seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Bahan-bahan penelitian

No	Bahan	Kegunaan	Sumber
1.	Citra Sentinel-1A dan 1-B SAR Tahun 2019 dan 2024	Sebagai bahan untuk mengidentifikasi kejadian banjir	<i>European Space Agency (ESA)</i> https://scihub.copernicus.eu/
2.	Citra Sentinel-2A Tahun 2019 dan 2024	Sebagai bahan untuk pembuatan tutupan lahan parameter tingkat kerawanan banjir	<i>European Space Agency (ESA)</i> https://scihub.copernicus.eu/
3.	Data <i>Digital Elevation Model</i> (DEM)	Sebagai bahan untuk pembuatan elevasi, kemiringan lereng, dan jarak dari sungai, <i>Topographic Wetness Index</i> (TWI) parameter tingkat kerawanan banjir	DEM-NAS https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/
4.	Data Curah Hujan Tahun 2019 dan 2024	Sebagai bahan untuk pembuatan curah hujan parameter tingkat kerawanan banjir	<i>Center for Hydrometeorology and Remote Sensing (CHRS)</i> https://chrsdata.eng.uci.edu/
5.	Peta Geologi	Sebagai bahan untuk pembuatan peta geologi parameter tingkat kerawanan banjir	Pusat Survei Geologi (PSG) Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM)

No	Bahan	Kegunaan	Sumber
6.	Batas Administrasi Kab. Sidrap dan Kab. Wajo	Sebagai bahan untuk mengetahui batas lokasi penelitian	Rupa Bumi Indonesia (RBI) https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web
7.	Peta Batas DAS KLHK 2018	Sebagai bahan untuk mengetahui batas lokasi penelitian	SK/304/MenLHK/PDASHL/DAS.0/7/2018 Tentang Penetapan Peta Daerah Aliran Sungai
8.	Data Pola Ruang Provinsi 2024	Sebagai bahan untuk memberikan arahan mitigasi banjir	Perda Provinsi Sulawesi Selatan Nomor 3 Tahun 2024 RTRW

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Identifikasi Sebaran Spasial Wilayah Terdampak Banjir

DAS Awo merupakan wilayah yang rentan terhadap banjir. Untuk mengidentifikasi daerah yang berpotensi banjir, diperlukan metode yang tepat dan akurat. Salah satu metode yang dapat digunakan pada identifikasi banjir yaitu menggunakan Citra Sentinel-1 SAR yang proses pengolahannya dilakukan dengan menggunakan *software Sentinel Application Platform* (SNAP). Proses pengolahan data tersebut akan menghasilkan informasi sebaran banjir.

Setelah proses pengolahan Citra Sentinel-1 SAR, selanjutnya digunakan rumus *Normalized Difference Sigma Index* (NDSI). Rumus NDSI digunakan untuk menganalisis distribusi banjir. Rumus ini menggunakan data sebelum banjir dan sesudah banjir dengan persamaan rumus (Amaliah & Syabandi, 2023):

$$\text{NDSI} = \frac{\sigma_0^m - \sigma_0^s}{\sigma_0^m + \sigma_0^s} \quad (1)$$

Keterangan : σ_0 = *sigma nought* s = *slaves*
m = *mast*

Rumus ini digunakan di *software* SNAP dengan *Toolbox Band Maths*. Kemudian pada *software* ArcGIS, dilakukan vektorisasi, *calculate geometry*, dan generalisasi. Proses vektorisasi mengubah data raster menjadi data vektor yang digunakan untuk dianalisis, *calculate geometry* akan mendapatkan nilai luasan banjir dan mengetahui luasan paling besar, untuk mengidentifikasi wilayah terdampak serta generalisasi yang akan menggabungkan fitur poligon yang berdekatan satu sama lain (Utomo et al., 2020).

Selanjutnya dilakukan *groundcheck* atau validasi lapangan. Validasi lapangan dilakukan dengan mengambil titik koordinat dari hasil identifikasi sebaran banjir dan melakukan konfirmasi atau pertanyaan langsung melalui wawancara dengan masyarakat yang berada di wilayah terdampak banjir. Dalam proses identifikasi banjir, nilai 0 (nol) diberikan jika tidak ada banjir, dan nilai 1 (satu) diberikan jika banjir terjadi di suatu

daerah, dengan menggunakan *tools raster to point* dalam *software* ArcGIS, data ini dapat diubah menjadi *point*.

2.3.2 Faktor-Faktor Penyebab Banjir

Banjir merupakan peristiwa yang tidak hanya disebabkan oleh faktor alam semata, namun juga dipengaruhi oleh aktivitas manusia. Untuk dapat menanggulangi banjir secara efektif, perlu ditelusuri jejaknya. Faktor-faktor penyebab banjir yang menjadi variabel dalam penelitian ini yaitu ketinggian (elevasi), kemiringan lereng, jenis tanah, curah hujan, jarak dari sungai, penutupan lahan, geologi, kerapatan sungai, dan *Topographic Wetness Index* (TWI).

Ketinggian/Elevasi. Ketinggian (elevasi) lahan adalah ukuran tinggi area di atas permukaan laut. Data ketinggian didapatkan dari data DEMNAS dengan menggunakan *tools reclassify* untuk mengklasifikasikan kembali dengan membagi 5 (lima) kelas nilai ketinggian. Parameter ketinggian akan diklasifikasikan menjadi 5 (lima) kelas yaitu 0-500 m, 500-1000 m, 1000-1500 m, 1500-2000 m, dan >2000 m (Sitorus et al., 2021). Kelas-kelas tersebut digunakan juga berdasarkan kondisi wilayah DAS Awo yang memiliki ketinggian bervariasi dari dataran rendah sampai pegunungan.

Kemiringan lereng. Kemiringan lereng adalah perbandingan persentase antara jarak horizontal, yang menunjukkan panjang tanah datar, dan jarak vertikal, yang menunjukkan tinggi tanah. Data kemiringan lereng didapatkan sama dengan ketinggian yaitu dari data DEMNAS. Kemudian diolah menggunakan *tools slope* dengan kelas kemiringan lereng akan diklasifikasikan menjadi 5 (lima) kelas yaitu 0-8% (Datar), 8-15% (Landai), 15-25% (Agak Curam), 25-45% (Curam), dan >45 (Sangat Curam) (Pedoman Penyusunan Pola Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah (1986) dalam Matondang et al., (2013) dengan modifikasi Darmawan et al., 2017)). Klasifikasi ini digunakan karena umum digunakan dalam penelitian spasial.

Jenis tanah. Jenis tanah di suatu tempat sangat memengaruhi proses penyerapan air, atau proses infiltrasi. Semakin besar daya serap tanah terhadap air, semakin kecil kerentanan banjirnya, dan sebaliknya, semakin kecil daya serap tanah terhadap air, semakin besar kerentanan banjirnya (Matondang et al., 2013).

Curah hujan. Data curah hujan didapatkan menggunakan Metode Isohyet. Metode Isohyet adalah metode yang menghubungkan lokasi dengan kedalaman hujan yang sama. Pada metode Isohyet, nilai rata-rata dari dua garis Isohyet sama dengan jumlah hujan yang terjadi pada suatu area yang berada di antara keduanya (Pangaribuan et al., 2019).

Jarak dari Sungai. Data DEMNAS harus diolah menggunakan *tools hydrology* GIS untuk membuat peta jarak sungai. Proses ini akan menghasilkan berbagai alur dalam jaringan sungai. Kemudian, untuk menghasilkan jarak dari jaring sungai, proses pengelolaan akan dilakukan dengan *tools Euclidean Distance*. Parameter jarak dari sungai akan diklasifikasikan menjadi 5 (lima) kelas yaitu 0-25 m, 25-50 m, 50-75 m, 75-100 m, dan >100 m (Kusumo & Nursari, 2016).

Geologi. Pusat Survei Geologi mengeluarkan peta geologi berdasarkan hasil ekstraksi data. Data ini memberikan gambaran tentang berbagai jenis formasi geologi yang rentan terhadap banjir. Beberapa contoh formasi geologi yang termasuk dalam kategori rawan banjir adalah Formasi Aluvium (Qa), Formasi Lempung (Ql), dan Formasi Pasir Kuarsa (Qps). Sifat-sifat formasi geologi ini memiliki karakteristik yang dapat mempengaruhi tingkat kerawanan banjir di daerah tertentu.

Kerapatan Sungai. Berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal NOMOR: P.3/V-SET/2013 dalam Pedoman Identifikasi Karakteristik Daerah Aliran Sungai, Kerapatan sungai adalah suatu angka indeks yang menunjukkan banyaknya anak sungai di dalam suatu DAS. Kerapatan Sungai dibuat untuk memantau jaringan sungai dengan jaringan sungai yang cukup kompleks, dengan sungai utama dan beberapa anak sungai melintasi wilayah tersebut (Handoyo et al., 2025). Kerapatan sungai diolah menggunakan *line density tool* pada ArcGIS dan diklasifikasikan menjadi lima kelas menggunakan metode *Equal Interval* (Tamesgen et al., 2023). Nilai yang lebih tinggi menunjukkan bahwa sistem pengaliran di suatu daerah lebih baik, yang berarti lebih banyak air larian total, daya serap tanah lebih rendah, dan lebih sedikit air tanah yang tersimpan di daerah tersebut (Matondang et al., 2013).

Topographic Wetness Index (TWI). *Topographic Wetness Index* (TWI) adalah indeks kebasahan yang dapat digunakan sebagai indikator suatu daerah yang berpotensi banjir. TWI adalah data turunan yang dibuat dari data DEM dalam kondisi stabil dengan menggunakan *flow accumulation* dan *slope*. Keakuratan hasil TWI sangat bergantung pada permukaan topografi, dan penggunaan data DEM resolusi tinggi memungkinkan pemodelan yang lebih rinci (Riadi et al., 2018). Secara konseptual, pengolahan TWI juga dapat dilakukan secara manual dengan perhitungan menggunakan algoritma berikut (Wardhana et al., 2024):

$$TWI = \ln \frac{\alpha}{\tan \beta} \quad (2)$$

Keterangan : α = Akumulasi lereng atas yang mengalirkan air pada suatu titik di setiap kontur

β = Sudut/kemiringan lereng

Penutupan lahan. Penutupan lahan akan memengaruhi kerawanan banjir sebuah wilayah, dan penutupan lahan akan memengaruhi jumlah air limpasan yang dihasilkan oleh hujan yang melebihi kecepatan infiltrasi. Data tutupan lahan didapatkan dari hasil interpretasi citra Sentinel-2A tahun 2024 dengan metode digitasi *on screen*. Citra tersebut di unduh pada situs *copernicus*. Setelah mengumpulkan data penutupan lahan, kemudian dilakukan survei lapangan, yang dikenal sebagai *groundcheck*. Lokasi titik sampel dipilih secara khusus dan disesuaikan untuk setiap kelas penutupan lahan berdasarkan jumlah poligon penutupan lahan masing-masing. Penetapan lokasi titik sampel ditentukan dengan *purposive sampling*. Dari hasil peta klasifikasi dan survei lapangan dilakukan perbandingan menggunakan uji akurasi Kappa dengan metode *Confusion Matrix* pada **Tabel 3**. Uji tersebut dilakukan untuk mengukur tingkat *error* digitasi pada citra dan membandingkannya dengan data lapangan.

Tabel 3. Confusion matrix

		Data Acuan (Pengecekan Lapangan)			Total Kolom
		A	B	C	
Data Hasil	A	X_n			$\sum_{+n}$
Klasifikasi	B		X_n		
Citra	C			X_n	
Total Baris		$\sum_{+n}$			N

Keterangan : A, B, C = Data acuan
 A', B', C' = Data hasil klasifikasi citra
 X_n = Data yang diuji
 X_{+n} = Jumlah masing-masing data acuan/klasifikasi citra
 N = Total data yang diuji

Akurasi kappa secara matematis disajikan sebagai berikut:

$$Kappa (k) = \frac{N \sum X_n - \sum X_{n+} X_{+n}}{N^2 - \sum X_{n+} X_{+n}} \times 100 \quad (3)$$

Keterangan : N = Total data (piksel) yang diuji
 X_n = Nilai diagonal matriks baris ke-n dan kolom ke-n
 X_{n+} = Jumlah piksel dalam baris ke-n
 X_{+n} = Jumlah piksel dalam kolom ke-n

2.3.3 Analisis Data

Frekuensi Rasio dan Normalisasi Data. Pada tahap pertama, metode Frekuensi Rasio (FR) digunakan untuk mendapatkan nilai FR untuk setiap faktor penyebab banjir. Pendekatan Frekuensi Rasio digunakan untuk menentukan seberapa dekat hubungan antara kejadian banjir dengan faktor penyebab. Jika $FR > 1$ menunjukkan hubungan yang erat antara kejadian banjir dan faktor penyebabnya, sebaliknya, jika $FR < 1$ menunjukkan hubungan yang lebih antara peristiwa banjir dan faktor penyebabnya. FR yang dihitung dengan rumus (Amaliah & Syabandi, 2023) sebagai berikut :

$$Fr = \frac{P_{xCL} (nm) / \sum P_{nxL}}{Pixel (nm) / \sum P_{nx}} \quad (4)$$

Keterangan: P_{xCL} = Jumlah piksel yang dibanjiri di kelas n parameter m
 Pixel = Jumlah piksel di kelas n parameter m
 $\sum P_{nxL}$ = Total piksel parameter m
 $\sum P_{nx}$ = Total piksel area

Selanjutnya, data FR yang didapatkan dinormalisasi. Normalisasi data sangat penting untuk variabel yang berbeda-beda. Data dikelaskan dengan skala kisaran 0 hingga 1. Pengskalaan dilakukan untuk meningkatkan akurasi perhitungan numerik, untuk mendapatkan output yang lebih baik. Teknik min-max digunakan. Keuntungannya adalah

menjaga persis semua hubungan dalam data, dan itu tidak menimbulkan bias. Normalisasi data diperoleh dengan transformasi berikut (Sheela & Deepa, 2013):

$$X'_i = \left(\frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \right) (X'_{max} - X'_{min}) + X'_{min} \quad (5)$$

Keterangan: X_i = Data input aktual
 X_{min} = Data input aktual minimum
 X_{max} = Data input aktual maksimum.
 X'_{min} = Nilai target terendah
 X'_{max} = Nilai target tertinggi

Model Artificial Neural Network (ANN). Selanjutnya dilakukan penskalaan untuk meningkatkan keakuratan data digital dan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, yaitu dengan mengelaskan data hasil analisis dengan nilai antara 0 dan 1 (Sheela & Deepa, 2013). *Multi-layer Perceptron* (MLP) digunakan untuk memproses input setiap neuron yang tersembunyi dan outputnya dengan mengalikan input (x_i) dengan bobot yang sesuai (w_i) (Soma et al., 2019)

$$LS ANN = \sum_{i=0}^n w_i x_i \quad (6)$$

Keterangan : W_i = Bobot input dan X_i = Input

Multi-layer Perceptron (MLP) pada *software* SPSS, dibangun model ANN. Data input terdiri dari sembilan faktor penyebab banjir. Proses dilakukan dengan membagi data menjadi 70% untuk data *training* dan 30% untuk data validasi. SPSS secara otomatis melakukan proses iterasi hingga tercapai. Pada model ini, proses iterasi ini akan berhenti ketika mendapatkan sepuluh iterasi terbaik dari banyaknya pengulangan yang dilakukan. Hasil model ini digunakan untuk mengidentifikasi hubungan nonlinear antar variabel input dan memberikan nilai untuk setiap parameter dalam menentukan kerawanan banjir. Setelah itu, fungsi aktivasi non-linear digunakan untuk mendapatkan nilai jumlah (akumulasi) dan menghasilkan hasil (y_i), yang merupakan node output dari Persamaan (5) jika nilai jumlah melebihi ambang neuron (Soma et al., 2019).

$$y_i = G \left(b^2 + W^2 \left(s(b^1 + W^1 i) \right) \right) \quad (7)$$

Keterangan : G = Fungsi aktivasi b^2 = Vektor bias 2
 b^1 = Vektor bias 1 W^2 = Matriks bobot 2
 W^1 = Matriks berat 1

Validasi Data. Validasi adalah langkah penting dalam evaluasi akurasi setiap model. Pemodelan ANN menggunakan data yang diperoleh untuk memverifikasi hasil analisis rawan banjir. Data lapangan juga digunakan untuk memvalidasi bahwa data apakah hasil analisis biasa dianggap benar atau sesuai dengan kondisi risiko yang sebenarnya di lapangan. Peta kerawanan banjir yang dibuat menggunakan model ANN divalidasi dengan kurva *Receiver Operating Characteristic* (ROC) dalam klasifikasi multi kelas. Hasil validasi ini menunjukkan nilai akurasi prediksi berdasarkan *Area Under Curve* (AUC) melalui analisis ROC yang dilakukan menggunakan *software* SPSS (Fadilah et al., 2019). AUC ini menghitung jumlah area kumulatif yang berada di bawah kerawanan

banjir yang berbeda pada satu sisi, dan jumlah kejadian banjir kumulatif di area rawan pada sisi lain. Secara umum, AUC kurva ROC mengkategorikan hasil validasinya yaitu:

Tabel 4. Klasifikasi nilai AUC

Nilai AUC	Keterangan
0,5–0,6	Gagal
0,6–0,7	Buruk
0,7–0,8	Cukup
0,8–0,9	Baik
0,9–1	Sangat baik

Sumber: (Rasyid et al., 2016)

2.3.4 Peta Tingkat Kerawanan Banjir

Peta tingkat kerawanan banjir dibuat berdasarkan hasil dari pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN) yang telah divalidasi sebelumnya menggunakan *Receiver Operating Characteristic* (ROC), dan telah menghasilkan nilai indeks kerawanan banjir (*Flood Susceptibility Index /FSI*). Pada proses sebelumnya diawali dengan identifikasi dan pengolahan faktor penyebab banjir sebagai input dalam pemodelan ANN untuk menghasilkan nilai FSI. Hasil nilai FSI diklasifikasikan ke dalam lima kelas kerawanan, yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Kemudian hasilnya berupa dalam bentuk peta spasial yang telah menunjukkan tingkat kerawanan banjir di setiap bagian di DAS Awo dan menjadi dasar utama dalam melakukan perbandingan sebaran kerawanan banjir antar waktu, serta dalam penentuan wilayah prioritas untuk mitigasi banjir.

Perbandingan Sebaran Kerawanan Banjir. Perbandingan sebaran kerawanan banjir dilakukan untuk menilai dinamika perubahan tingkat kerawanan banjir di wilayah DAS Awo antara tahun 2019 dan tahun 2024. Tahapan ini bertujuan untuk menganalisis pergeseran kelas kerawanan yang terjadi dalam kurun waktu lima tahun. Perbandingan dilakukan dari hasil nilai indeks kerawanan banjir (*Flood Susceptibility Index /FSI*) berdasarkan data masing-masing tahun. Selanjutnya, dilakukan penghitungan luas wilayah per kelas kerawanan untuk masing-masing tahun, serta analisis perbedaan persentase luas antar kelas untuk melihat tren peningkatan atau penurunan tingkat kerawanan banjir.

2.3.5 Arahan Mitigasi Berdasarkan Tingkat Kerawanan Banjir

Hasil penelitian tingkat kerawanan dengan berbagai kelas atau tingkatan kerawanan kemudian dijadikan acuan untuk dilakukan arahan mitigasi kedepannya. Arahan mitigasi ini bertujuan untuk menganalisis kerawanan banjir berdasarkan pola ruang, serta mengevaluasi kesesuaian antara data pola ruang, tingkat kerawanan banjir, dan tutupan lahan di DAS Awo. Proses ini dilakukan menggunakan metode overlay, dengan menggabungkan ketiga data tersebut. Selanjutnya, hasil penggabungan dianalisis dan dievaluasi sesuai dengan tingkat kerawanan untuk melakukan arahan mitigasi yang tepat.