

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan akan bencana, baik bencana alam maupun bencana yang diakibatkan oleh kegiatan manusia. Dari berbagai jenis bencana yang terjadi, banjir merupakan salah satu yang paling sering dialami dan berdampak luas terhadap masyarakat (Sulaiman *et al.*, 2020). Menurut Kementerian PU, 2003 dalam (Musfida *et al.*, 2021) bahwa banjir adalah aliran air (*Surface water*) yang tinggi mengakibatkan ketidakmampuan drainase atau sungai untuk ditampung, sehingga menimbulkan genangan yang tidak normal dan mengakibatkan manusia mendapatkan kerugian yang sangat tinggi.

Kejadian banjir tidak hanya disebabkan oleh curah hujan yang tinggi tetapi juga dipengaruhi oleh beberapa faktor yang saling berkaitan, seperti kondisi topografi yang rendah, kemiringan lereng yang relatif landai, jenis tanah, jarak dari sungai, perubahan tutupan lahan, jarak dari permukiman, serta kepadatan penduduk yang tinggi (Tarigan, 2016, dalam (Mataburu, Handawati, & Nugratama Hijrawadi, 2022). Penelitian ini menggunakan delapan faktor yang mencakup kondisi fisik, geologis, hidrologis, dan penggunaan lahan dalam memengaruhi kerawanan banjir sesuai dengan karakteristik wilayah DAS Tallo.

Salah satu upaya yang dilakukan untuk mencegah dan meringankan kerugian serta kerusakan akibat banjir di masa yang akan datang yaitu dengan melakukan analisis kerawanan banjir di Daerah Aliran Sungai Tallo. Langkah yang dilakukan yaitu menganalisis secara spasial untuk menunjukkan tingkat bahaya banjir melalui visualisasi pada peta kerawanan banjir. Dengan memanfaatkan teknologi geospasial, khususnya Sistem Informasi Geografis (SIG) kerawanan banjir dapat dipetakan di suatu wilayah berdasarkan faktor-faktor penyebab banjir. Dalam pemetaan ini dihasilkan peta kerawanan banjir serta peta untuk memprediksi permukiman yang akan berpotensi terdampak banjir (Rakuasa & Latue, 2023).

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sistem informasi khusus yang mengelola data yang memiliki informasi spasial atau dalam arti yang lebih sempit, adalah sistem komputer yang memiliki kemampuan untuk membangun, menyimpan, mengelola, dan menampilkan informasi bereferensi geografis, misalnya data yang diidentifikasi menurut lokasinya, dalam sebuah *database*. SIG adalah sistem informasi yang didasarkan pada kerja komputer yang memasukkan, mengelola, memanipulasi, dan menganalisa data serta memberi uraian. SIG yang lengkap mencakup metodologi dan teknologi yang diperlukan, yaitu data spasial perangkat keras, perangkat lunak, dan struktur organisasi (Fauziah, 2020).

Daerah Aliran Sungai (DAS) Tallo menjadi lokasi penelitian ini karena pada wilayah ini biasanya mengalami luapan sungai akibat peningkatan debit air yang cepat saat hujan berintensitas tinggi. Kondisi tersebut terjadi ketika volume air yang masuk ke sungai melebihi kapasitas tampungnya, sehingga memicu terjadinya banjir. Secara alami, air hujan sebagian akan meresap ke dalam tanah melalui *infiltrasi* dan sebagian lainnya mengalir sebagai limpasan permukaan. Namun, pada kondisi aliran air yang tinggi, kemampuan tanah dalam menyerap air akan berkurang, yang menyebabkan meningkatnya debit aliran menuju sungai (Latief, 1992 dalam (Marwiji et al., 2019).

Berdasarkan data historis kejadian banjir dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Makassar, Kabupaten Gowa dan Maros, kejadian banjir di wilayah DAS Tallo terjadi hampir setiap tahun dengan intensitas kejadian banjir yang semakin meningkat, kejadian tertinggi tercatat pada tahun 2024 hingga 2025, dimana pada Februari 2025, luapan DAS Tallo menyebabkan lebih dari 4.000 jiwa terdampak di Kota Makassar. Hal ini menunjukkan bahwa risiko banjir di wilayah ini berpotensi menimbulkan dampak yang lebih besar terhadap lingkungan maupun aktivitas manusia. Oleh karena itu, diperlukan upaya mitigasi melalui pemetaan kerawanan banjir berbasis SIG.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Composite Mapping Analysis* (CMA) yang menggabungkan beberapa layer data spasial (komposit) untuk menghasilkan hubungan yang penting untuk korelasi antara data-data spasial tersebut. Metode ini biasa digunakan sebagai metode manipulasi data raster, dengan melakukan *overlay* dalam bentuk *polygon* dari data raster. CMA diperlukan untuk menentukan bobot setiap paramater banjir (Mataburu, Handawati, & Hijrawadi, 2022; Sukowati & Kusratmoko, 2019 dalam (Darmawan et al., 2023).

Berdasarkan uraian di atas, maka peneliti mengangkat judul “**Analisis Kerawanan Banjir Menggunakan Metode *Composite Mapping Analysis* (CMA) di Daerah Aliran Sungai Tallo.**” Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kerawanan banjir serta menghasilkan peta kerawanan banjir yang dapat digunakan sebagai acuan dalam perencanaan wilayah dan upaya mitigasi bencana di wilayah DAS Tallo.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kerawanan banjir DAS Tallo.
2. Menganalisis tingkat kerawanan banjir dengan menggunakan Metode *Composite Mapping Analysis* (CMA).
3. Melakukan uji validasi terhadap model kerawanan banjir yang dihasilkan.

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu diharapkan dapat memberikan informasi mengenai tingkat dan sebaran kerawanan banjir di DAS Tallo dalam bentuk peta kerawanan banjir berbasis SIG, yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam upaya pengurangan risiko banjir. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dalam pengembangan metode pemetaan kerawanan banjir, khususnya

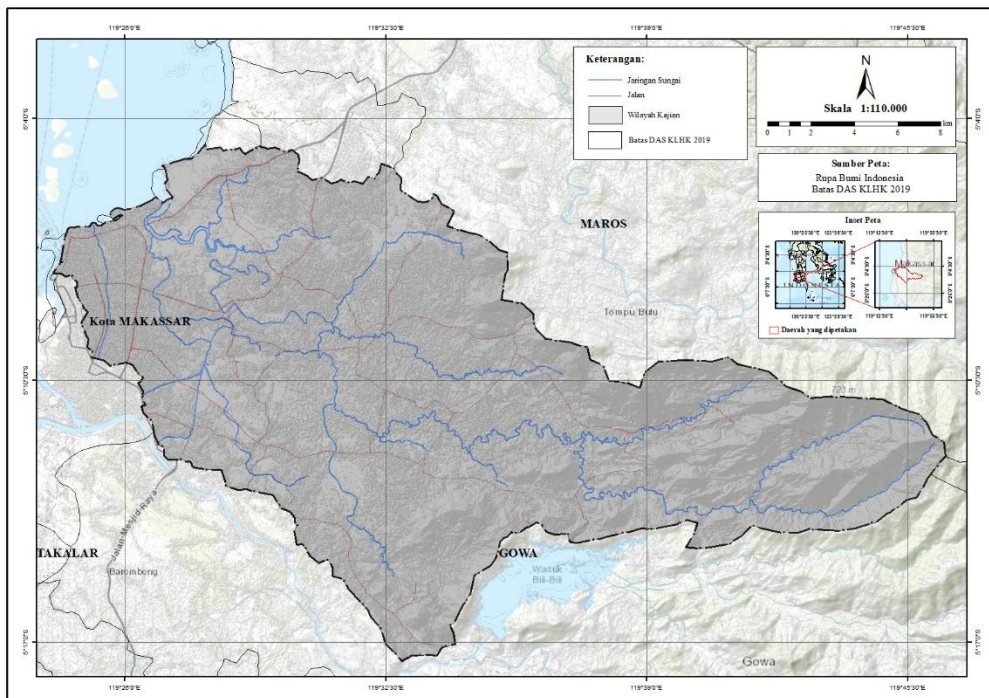
dengan menggunakan pendekatan CMA serta validasi model, bagi penelitian selanjutnya.

BAB II METODOLOGI

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni 2025 sampai Februari 2026 di DAS Tallo yang secara administratif terletak di Kabupaten Gowa, Kabupaten Maros, dan Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan, sedangkan untuk analisis data, dilakukan di Laboratorium Perencanaan dan Sistem Informasi Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Secara geografis, DAS Tallo terletak di wilayah Provinsi Sulawesi Selatan pada koordinat $119^{\circ}23' - 119^{\circ}47'$ Bujur Timur dan $5^{\circ}05' - 5^{\circ}17'$ Lintang Selatan. DAS ini memiliki luas sekitar 443,7 km² atau 44.370 ha dengan panjang sungai utama ± 70 km. Karakteristik fisiknya terdiri dari bagian hulu yang berbukit hingga bergunung di Kabupaten Gowa dan Maros, sedangkan bagian hilir berupa dataran rendah yang bermuara ke Selat Makassar. Batas wilayah DAS Tallo sebelah utara berbatasan dengan DAS Maros, sebelah timur berbatasan dengan DAS Je'neberang, sebelah selatan berbatasan dengan DAS Je'neberang dan sebelah barat berbatasan dengan Selat Makassar. Berdasarkan administrasi pemerintah DAS Tallo terletak pada dua kabupaten yaitu Kabupaten Maros dan Kabupaten Gowa dan satu kota yaitu Kota Makassar. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Laptop, sebagai alat untuk memproses data dan menjalankan *software*.
2. *Smartphone* sebagai alat dokumentasi di lapangan.
3. Alat tulis menulis digunakan untuk mencatat hasil pengamatan.
4. Aplikasi *Avenza Maps* Digunakan untuk mencari titik penelitian dan memperoleh koordinat lokasi penelitian.
5. *Software ArcGIS 10.4*, digunakan untuk output dan visualisasi data.
6. *Software Google Earth Pro*, digunakan untuk menentukan titik koordinat kejadian banjir.
7. *Software RStudio*, digunakan untuk validasi model menggunakan metode ROC/AUC
8. *Microsoft Office* digunakan untuk mengolah data yang dihasilkan dan membuat laporan.

2.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

Tabel 1. Bahan Penelitian.

No	Data	Kegunaan	Di peroleh dari
1	Data Batas Administrasi	Sebagai daerah penelitian	Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) https://tanahair.Indonesia.go.id/portal-web/
2	(<i>Digital Elevation Model</i>) DEM Nasional	Sebagai bahan untuk pengolahan data ketinggian, dan kemiringan lereng.	Badan Informasi Geospasial (BIG) https://tanahair.Indonesia.go.id/portal-web/
3	Data Tutupan Lahan Tahun 2024	Sebagai bahan untuk pembuatan peta Tutupan lahan	Balai Pemantapan Kawasan Hutan (BPKH) Wilayah VII Makassar
4	Data Curah Hujan 2020 – 2024	Sebagai bahan untuk menganalisis curah hujan	Satelit Merra https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/
5	Data Jaringan Sungai, dan permukiman	Sebagai bahan untuk menganalisis peta jarak dari sungai, dan permukiman	Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) https://tanahair.Indonesia.go.id/portal-web/
6	Data Jenis Tanah	Sebagai bahan untuk analisis jenis tanah	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> (FAO)

Tabel 2. Lanjutan Bahan Penelitian.

No	Data	Kegunaan	Diperoleh dari
7	Titik kejadian banjir	Untuk memvalidasi hasil yang didapatkan	Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Sulsel, Kota Makassar dan Kabupaten Gowa
8	Data jumlah penduduk per desa/kelurahan dan luas wilayah	Untuk pengolahan data kepadatan penduduk	Badan Pusat Statistik (BPS) Sulawesi Selatan

2.3 Pengumpulan Data

2.3.1 Data Titik Kejadian Banjir

Data kejadian banjir dalam penelitian ini diperoleh melalui Badan Penanggulangan Bencana (BPBD) Sulawesi Selatan, Kabupaten Gowa, Kabupaten Maros, dan Kota Makassar yang berbentuk data tabular. Data tersebut memuat informasi kejadian banjir seperti lokasi kejadian dan waktu kejadian. Selanjutnya, data tabular tersebut diolah menjadi data spasial dalam bentuk titik (*point*) menggunakan *software Google Earth Pro* dan *ArcGis*. Proses ini dilakukan dengan mengacu pada informasi lokasi setiap kejadian banjir sehingga dapat direpresentasikan dalam bentuk koordinat.

Setelah dikonversi, data titik kejadian banjir digunakan sebagai data pendukung dalam analisis spasial dan dioverlay dengan parameter kerawanan banjir melalui metode *Spatial Join*

2.3.2 Faktor-Faktor Penyebab Banjir

Banjir merupakan kejadian yang tidak hanya diakibatkan oleh faktor alam saja, tetapi juga dipengaruhi oleh aktivitas manusia. Oleh karena itu, dalam penelitian ini harus mengetahui faktor-faktor penyebabnya untuk menanggulangi banjir secara efektif. Variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu curah hujan, kemiringan lereng, jarak dari sungai, ketinggian, jenis tanah, tutupan lahan, jarak dari permukiman, jarak dari jalan, dan kepadatan penduduk.

Curah hujan. Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh di suatu wilayah dalam periode waktu tertentu, biasanya diukur dalam satuan milimeter per hari, bulan, atau tahun. Besarnya curah hujan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Di Indonesia, curah hujan sangat bervariasi antar wilayah. Semakin tinggi intensitas curah hujan, maka semakin besar pula potensi terjadinya banjir. Sebaliknya, curah hujan yang rendah cenderung mengurangi risiko bencana banjir (Darmawan *et al.*, 2017).

Data curah hujan diperoleh dari hasil analisis data curah hujan yang diunduh melalui website <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> untuk wilayah Indonesia periode 2020 - 2024. Pemilihan periode tersebut sudah mewakili rata-rata hujan terkini agar hasil pengolahan data lebih relevan. Metode curah hujan yang digunakan adalah *Inverse Distance Weight* (IDW) untuk menaksir suatu nilai pada

lokasi yang tidak tersampel berdasarkan data di sekitarnya (Darmawan *et al.*, 2023). Adapun klasifikasi curah hujan dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi kelas parameter curah hujan.

Klasifikasi (mm/Tahun)	Keterangan	Skor
< 1.500	Sangat Rendah	1
1.500 – 2.000	Rendah	2
2.000 – 2.500	Sedang	3
2.500 – 3.000	Tinggi	4
> 3000	Sangat Tinggi	5

Sumber: (Mukhlisa *et al.*, 2023).

Kemiringan Lereng. Kemiringan lereng adalah rasio antara perbedaan ketinggian (vertikal) dengan jarak horizontal pada suatu area lahan. Kemiringan lereng berpengaruh terhadap kecepatan limpasan air. Semakin rendah kemiringan lereng maka semakin rawan terjadi banjir (Tri *et al.*, 2025). Data spasial untuk Kemiringan lereng dapat diperoleh melalui pengolahan Data Elevasi Model (DEM) Nasional <https://tanahair.Indonesia.go.id/portal-web/>, yang kemudian dianalisis menggunakan fitur *slope* dalam perangkat lunak ArcGIS. Klasifikasi kelerengan mengacu pada ketentuan yang tercantum dalam (Peraturan Menteri Lingkungan dan Kehutanan tahun 2022). Setiap kategori kemiringan kemudian diberi nilai skor sesuai dengan tingkat kemiringannya, sebagaimana ditampilkan pada tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi kelas parameter kemiringan lereng.

Klasifikasi (%)	Keterangan	Skor
> 45	Sangat Curam	1
30 – 45	Curam	2
15 – 30	Agak Curam	3
3 – 15	Landai	4
0 – 3	Sangat Landai	5

Sumber: (Rakuasa & Latue, 2023).

Jarak dari sungai. Jarak dari sungai adalah zona penyangga yang dibuat di sekitar aliran sungai dalam analisis spasial menggunakan perangkat lunak SIG (Sistem Informasi Geografis). Ini merupakan area dengan jarak tertentu dari garis sungai, yang digunakan untuk mengidentifikasi wilayah yang berpotensi terdampak oleh aktivitas atau kejadian di sekitar sungai, seperti banjir. Jarak dari sungai digunakan sebagai parameter kerawanan banjir karena daerah yang berada dekat alur sungai memiliki risiko lebih tinggi terhadap limpasan dan luapan air, terutama saat debit sungai meningkat (Rakuasa & Latue, 2023).

Data jarak dari sungai diperoleh dari Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) yang diakses melalui portal <https://tanahair.Indonesia.go.id/portal-web/>. Peta *buffer* sungai dihasilkan dari data sungai yang kemudian dianalisis secara spasial menggunakan metode *buffer*. Hasil dari analisis berupa area dengan lebar tertentu di sekitar sungai yang divisualisasikan pada peta sebagai zona dengan jarak tertentu dari garis sungai (Pratama *et al.*, 2020). *Buffer* sungai diklasifikasikan menjadi empat kelas berdasarkan jaraknya dari aliran sungai utama. Semakin dekat zona terhadap

sungai, maka semakin tinggi skor kerawanan yang diberikan, karena wilayah tersebut memiliki potensi lebih besar terdampak oleh limpasan atau luapan air sungai saat musim hujan. Klasifikasi jarak dari sungai dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Klasifikasi kelas parameter jarak dari sungai.

Klasifikasi (m)	Keterangan	Kelas
>100	Jauh	1
75 – 100	Cukup dekat	2
50 – 75	Sedang	3
25 – 50	Dekat	4
0 – 25	Sangat dekat	5

Sumber: (Salsabillah *et al.*, 2024)

Ketinggian. Ketinggian adalah tinggi rendahnya suatu lokasi di permukaan bumi yang diukur dari titik referensi tetap, yang umumnya adalah permukaan laut rata-rata (MDPL). Ketinggian lahan menjadi parameter penting dalam analisis kerawanan banjir karena daerah dengan elevasi rendah cenderung menjadi lokasi akumulasi limpasan air dan sulit mengalirkan genangan keluar. Sebaliknya, daerah dengan ketinggian relatif tinggi memiliki risiko banjir yang lebih rendah karena aliran permukaan lebih cepat menuju sungai (Fauzi, 2022).

Data ketinggian diproses menggunakan data DEM dari Badan Informasi Geospasial <https://tanahair.Indonesia.go.id/portal-web/>. Data DEM kemudian diolah menggunakan fitur *reclassify* pada ArcGIS 10.4 yang disesuaikan dengan kondisi ketinggian lahan (Salsabillah *et al.*, 2024). Ketinggian lahan yang rendah sangat berpotensi tergenang banjir (Haryani *et al.*, 2012). Klasifikasi yang digunakan dalam analisis ini terdiri dari lima kelas yang dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Klasifikasi kelas parameter ketinggian.

Klasifikasi (mdpl)	Keterangan	Kelas
> 500	Sangat Tinggi	1
100 – 500	Tinggi	2
25 – 100	Agak Tinggi	3
7 – 25	Rendah	4
0 – 7	Sangat Rendah	5

Sumber: (Rakuasa *et al.*, 2022)

Jenis Tanah. Jenis tanah adalah salah satu parameter penting dalam analisis kerawanan banjir, karena setiap jenis tanah memiliki kemampuan yang berbeda dalam menyerap air hujan. Jenis tanah memiliki peran penting dalam potensi terjadinya banjir karena setiap jenis tanah memiliki tingkat *infiltrasi* air dan daya tembus air yang berbeda-beda (Darmawan *et al.*, 2023). Proses *infiltrasi* sangat dipengaruhi oleh jenis tanah dalam kaitannya dengan kemampuan tanah menyerap air. *Infiltrasi* sendiri merupakan aliran air yang bergerak secara vertikal ke dalam tanah akibat pengaruh gaya gravitasi. Seiring waktu, laju *infiltrasi* akan menurun karena kelembapan tanah meningkat (Zhafira, A, 2026). Daya serap tanah yang tinggi terhadap air akan mengurangi tingkat kerawanan banjir, sedangkan daya serap

yang rendah justru meningkatkan potensi terjadinya banjir (Matondang, 2013 dalam (Darmawan *et al.*, 2017).

Peta jenis tanah diperoleh dari *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO). Dalam penelitian ini selanjutnya dilakukan pengolahan menggunakan software *ArcGIS*. Proses pengolahan dilakukan dengan menggunakan fitur *clip* untuk memotong peta jenis tanah nasional, sehingga hanya mencakup wilayah Kab Gowa dan Maros serta Kota Makassar. Adapun klasifikasi jenis tanah yang dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Klasifikasi kelas parameter jenis tanah.

Jenis Tanah	Infiltrasi	Skor
Regosol, Litosol, Organosol, Renzina	Sangat Peka	1
Andosol, Laterik, Grumosol, Podsol, Podsollic	Peka	2
Tanah Hutan Coklat, Tanah Mediteran	Kepekaan Sedang	3
Latosol	Agak Peka	4
Aluvial, Planosol, Hidromorf kelabu, Laterik	Tidak Peka	5

Sumber: Darmawan dan Suprayogi, 2017 dalam (Anderson *et al.*, 2022)

Tutupan Lahan. Tutupan Lahan merupakan salah satu faktor yang sangat memengaruhi kerawanan banjir. Lahan yang memiliki banyak vegetasi maka air hujan akan banyak diinfiltrasi dan lebih banyak waktu yang ditempuh oleh limpasan untuk sampai ke sungai sehingga kemungkinan banjir lebih kecil daripada daerah yang memiliki vegetasi yang sedikit (Mungok, 2017).

Data tutupan lahan diperoleh dari Balai Pemantapan Kawasan Hutan (BPKH) Wilayah VII Makassar. Data tersebut selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan jenis tutupan lahannya untuk mempresentasikan parameter tutupan lahan. Adapun klasifikasi penggunaan lahan dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Klasifikasi kelas parameter penggunaan lahan

Klasifikasi	Skor
Hutan Lahan Kering Sekunder	1
Hutan Tanaman	1
Hutan Mangrove Sekunder	1
Belukar	2
Belukar Rawa	2
Savanna/Padang Rumput	3
Pertanian Lahan Kering	3
Pertanian Lahan Kering Campur	3
Sawah	4
Tambak	4
Pemukiman	5
Tanah Terbuka	5
Badan Air	5
Bandara/Pelabuhan	5

Sumber: (Hot *et al.*, 2021)

Jarak dari permukiman. Jarak dari permukiman adalah ukuran seberapa jauh suatu lokasi atau wilayah berada dari area permukiman penduduk baik itu rumah, desa ataupun kota. Semakin dekat suatu wilayah terhadap kawasan permukiman, maka semakin besar pengaruh aktivitas manusia di wilayah yang mengakibatkan rentang terhadap banjir sehingga menyebabkan berkurangnya daerah resapan air dan meningkatkan limpasan ke permukaan (*runoff*) (J, 2014).

Data permukiman diperoleh dari Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) yang diakses melalui portal <https://tanahair.Indonesia.go.id/portal-web/>. Adapun langkah pengumpulan datanya diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS dengan metode *buffer* untuk menghitung jarak permukiman setiap lokasi di wilayah penelitian. Hasil akhirnya merupakan sebuah peta raster baru yang dimana setiap piksel pada peta raster ini memiliki nilai numerik yang menunjukkan jaraknya ke permukiman terdekat.

Tabel 9. Klasifikasi kelas parameter Jarak dari Permukiman

Jarak dari Permukiman (m)	Klasifikasi	Skor
> 400	Sangat Jauh	1
300 – 400	Jauh	2
200 – 300	Sedang	3
100 – 200	Dekat	4
0 – 100	Sangat dekat	5

Sumber: (Hardani, 2026).

Kepadatan Penduduk. Kepadatan penduduk memengaruhi risiko banjir karena jumlah penduduk yang tinggi dapat mendorong alih fungsi lahan menjadi area terbangun, yang berdampak pada berkurangnya daerah resapan air dan meningkatnya limpasan permukaan (Alfina *et al.*, 2021).

Data kepadatan penduduk bersumber dari Badan Pusat Statistik (BPS) Sulawesi Selatan. Data ini kemudian diproses secara spasial menggunakan ArcGIS untuk menghitung kepadatan penduduk dalam satuan jiwa per km² (jiwa/ km²). Prosesnya melibatkan penggabungan data tabular tersebut dengan peta batas administrasi desa menggunakan fitur *join* di ArcGIS. Setelah data terintegrasi, dilakukan klasifikasi data menggunakan metode *Natural Breaks* (*jenks*). Metode ini dipilih karena mampu mengelompokkan data berdasarkan interval yang terdapat pada sebaran data asli. Kemudian, data vektor tersebut dikonversi ke dalam format raster untuk keperluan analisis *overlay* dengan parameter fisik lainnya.

Tabel 10. Skoring kelas parameter kepadatan penduduk

Kepadatan Penduduk (jiwa/km ²)	Klasifikasi	Skor
0 – 500	Tidak Padat	1
501 – 3.000	Kurang Padat	2
3.001 – 7.500	Cukup Padat	3
7.501 – 15.000	Padat	4
>15.000	Sangat Padat	5

Sumber: Hasil Olah Data Penelitian (2026) dengan metode *Natural Breaks* (*jenks*)

2.4 Analisis Data *Composite Mapping Analysis* (CMA)

Teknik analisis data dalam penelitian ini berbasis Sistem Informasi Spasial (SIG) menggunakan perangkat lunak *ArcGIS* 10.4. Penentuan tingkat kerawanan banjir di DAS Tallo dilakukan dengan Metode *scoring* (pemberian skor) dan *Weight Overlay* (tumpang susun berbobot). Metode *scoring* digunakan untuk memberikan nilai pada setiap kelas parameter yang berhubungan dengan kerawanan banjir (Sholahuddin, 2015 dalam Salsabillah *et al.*, 2024). Sedangkan Metode *Weighted Overlay* merupakan teknik analisis spasial dengan cara menumpang-susunkan berbagai parameter yang telah diberi bobot sesuai tingkat pengaruhnya terhadap banjir (Khusnawati dan Kusuma, 2020 dalam (Salsabillah *et al.*, 2024).

Pada penelitian ini, nilai skor dan bobot diperoleh dengan menggunakan metode *Composite Mapping Analysis* (CMA) yang berbasis SIG. Metode CMA dapat digunakan untuk menentukan tingkat kerawanan banjir berdasarkan pemetaan dengan menilai kepentingan relatif antara parameter yang dianggap berpengaruh terhadap kejadian banjir yang diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas berdasarkan tingkat risikonya (Taufik & Rahman, 2017). Selanjutnya, dilakukan *overlay* dengan titik kejadian banjir yang diperoleh dari catatan historis banjir BPBD Provinsi Sulawesi Selatan dan BPBD Kota Makassar dan Kabupaten Gowa.

2.4.1 Perhitungan Hasil Observasi Spasial

Perhitungan hasil observasi spasial dengan cara menghitung bobot kerawanan dari setiap parameter, dengan menggunakan pendekatan perbandingan antara nilai observasi (O) dan ekspektasi (E) dari kejadian banjir di setiap kelas parameter.

1. Nilai Observasi (O): Jumlah titik kejadian banjir yang terjadi ditiap kelas parameter
2. Nilai Ekspektasi (E): Jumlah kejadian banjir yang terjadi di kelas tersebut, berdasarkan proporsi (%) luas kelas terhadap total luas wilayah studi.

Nilai Ekspektasi (E_i) dihitung sebagai berikut:

$$E_i = T \times \frac{F_i}{100} \quad (1)$$

Keterangan:

T = Total kejadian banjir

F_i = Proporsi area dari masing-masing sub-faktor ke-i

Selanjutnya dilakukan perhitungan rasio untuk setiap kelas parameter. Nilai $O/E > 1$ menunjukkan bahwa kelas tersebut memiliki kerawanan yang lebih tinggi dibandingkan nilai yang diperkirakan secara spasial, sedangkan nilai $O/E < 1$ menunjukkan bahwa tingkat kerawanan pada kelas tersebut relatif lebih rendah dari ekspektasi spasial.

Nilai Rasio O/E dihitung sebagai berikut:

$$Rasio = \frac{O_i}{E_i} \quad (2)$$

Setelah semua nilai rasio dihitung, langkah selanjutnya adalah melakukan normalisasi sehingga diperoleh skor (%) dalam bentuk persentase yang mempresentasikan kontribusi masing-masing kelas terhadap tingkat kerawanan.

Nilai skor tiap kelas dihitung sebagai berikut:

$$xi = \frac{(Oi/Ei)}{\sum (Oi/Ei)} \times 100 \text{ atau } yi = \frac{(Oi/Ei)}{\sum (Oi/Ei)} \times 100 \quad (3)$$

Keterangan:

O_i = Jumlah observasi titik kejadian banjir pada kelas parameter ke-i

E_i = Jumlah kejadian titik banjir pada kelas parameter ke-i

∑ (O/E) = Total keseluruhan observasi terhadap ekspektasi

Tabel 11. Contoh Tabel Hasil Operasi Spasial

Klasifikasi Kemiringan lereng	Luas (Ha)	Titik Banjir (O)	TB/HA	Ekspektasi TB	O/E	Skor
0-8%	...	...	...	...	...	...
8-15%	...	...	...	...	...	...
15-25%	...	...	...	...	...	...
25-45%	...	...	...	...	...	...
>45%	...	...	...	...	...	...
Total	...	...	...	...	...	...
Rata-rata	...	...	...	...	...	...

2.4.2 Penentuan Bobot Parameter

Setelah tahap klasifikasi, pemberian skor, serta perhitungan rasio Observasi terhadap Ekspektasi (O/E) pada masing-masing parameter, langkah berikutnya adalah menghitung bobot relatif masing-masing parameter untuk mengidentifikasi besarnya kontribusi relatif dari masing-masing parameter terhadap tingkat kerawanan banjir. Nilai bobot relatif masing-masing diperoleh melalui proses normalisasi terhadap nilai O/E, sehingga menghasilkan proporsi pengaruh setiap parameter dalam model analisis. Perhitungan bobot dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Wi = \frac{\left(\frac{O}{E}\right)_i}{\sum \left(\frac{O}{E}\right)} \quad (4)$$

Keterangan:

W_i = Bobot Parameter ke-i

(O/E)_i = Nilai rasio O/E parameter ke-i

∑(O/E) = Total seluruh nilai O/E dari semua parameter

2.4.3 Perhitungan Nilai Kerawanan Komposit (V)

Setelah bobot masing-masing parameter, tahap selanjutnya adalah menghitung nilai kerawanan komposit (V) untuk setiap piksel. Nilai ini merupakan hasil kombinasi seluruh parameter yang telah diberi bobot dan skor.

Nilai kerawanan komposit (V) dihitung sebagai berikut:

$$V = \sum (Wi \times Xi) \quad (5)$$

Keterangan:

V = Nilai kerawanan komposit

W_i = Bobot parameter ke- i

X_i = Skor kelas pada parameter ke- i

Nilai kerawanan komposit (V) yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menyusun peta zonasi kerawanan banjir. Proses klasifikasi nilai kerawanan dilakukan dengan menggunakan metode *Equal Interval*, yaitu dengan membagi selisih antara nilai maksimum dan minimum menjadi lima kelas yang mempresentasikan tingkat kerawanan yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi.

Adapun rumus untuk klasifikasi dihitung sebagai berikut:

$$\text{Klasifikasi} = \frac{\text{Maksimum} - \text{Minimum}}{\text{Jumlah Kelas}} \quad (6)$$

2.5 Validasi Model

Validasi dilakukan untuk menilai tingkat ketepatan hasil pemodelan kerawanan banjir yang diperoleh melalui metode *Composite Mapping Analysis* (CMA). Tahap validasi dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu validasi statistik dan validasi spasial.

2.5.1 Validasi ROC/AUC

Validasi data dilakukan dengan membandingkan hasil pemodelan kerawanan dengan data kejadian banjir aktual dari Badan Penanggulangan Bencana (BPBD). Proses validasi menggunakan Metode *Receiver Operating Characteristic* (ROC) dengan menggunakan software *RStudio*. Metode ini merupakan metode yang membedakan antara dua kelas kejadian dan non-kejadian untuk menilai kemampuan model statistik (Hidaya, 2022). Kurva ROC menggambarkan hubungan antara *True Positive Rate* (TPR) dan *False Positive Rate* (FPR), Sementara itu, nilai *Area Under Curve* (AUC) menunjukkan luas area yang ada di bawah kurva ROC yang menghasilkan tingkat akurasi model secara keseluruhan (Frenica & Soim, 2023). Nilai AUC berada pada rentang 0 – 1, dimana nilai yang semakin mendekati 1 menunjukkan kemampuan model yang semakin baik dalam memprediksi kejadian banjir secara tepat (Al-Abadi, 2015 dalam (Marwiji et al., 2019).

Dalam penelitian ini, validasi ROC/AUC digunakan untuk mengevaluasi tingkat akurasi peta kerawanan banjir hasil analisis CMA berbasis SIG, dengan membandingkan hasil pemodelan data kejadian banjir aktual. Klasifikasi tingkat akurasi berdasarkan uji diagnostik ROC/AUC dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Klasifikasi Nilai ROC/AUC

Nilai AUC	Klasifikasi
0,50 – 0,60	Gagal
0,60 – 0,70	Buruk
0,70 – 0,80	Sedang/Cukup
0,80 – 0,90	Baik
0,90 - 1	Sangat Baik

Sumber: (Nursyahfitri et al., 2022)

2.5.2 Validasi *Stakeholder*

Validasi *stakeholder* adalah proses hasil verifikasi pemodelan spasial dengan melibatkan pemangku adat atau masyarakat lokal untuk memastikan bahwa hasil model mencerminkan kondisi riil di lapangan. Penggabungan antara analisis spasial dengan persepsi masyarakat sangat krusial karena masyarakat lokal memiliki rekaman historis mengenai kejadian dan dampak bencana yang tidak tercatat secara administratif. Dalam hal ini, validasi berfungsi sebagai bentuk uji kebenaran lapangan (*ground truth*) yang bersifat kuantitatif untuk melengkapi validasi statistik (Ouma & Tateishi, 2014).

Validasi model dalam melibatkan masyarakat memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi yang mungkin tidak terdeteksi oleh data penginderaan jauh, seperti sumbatan drainase atau perubahan penggunaan lahan skala kecil. Dengan demikian, validasi ini berperan dalam meminimalisir bias interpretasi data sekunder serta meningkatkan akurasi kontekstual dari peta kerawanan yang dihasilkan (Haryani *et al.*, 2012).

Tahapan ini dilakukan dengan cara mengamati wilayah yang teridentifikasi pernah mengalami banjir. setiap titik, dilakukan pengecekan bukti fisik berupa jejak ketinggian air dan karakteristik lingkungan sekitar. Maka dari itu, untuk menginterpretasikan nilai hasil pengukuran dari responden, dilakukan klasifikasi data ke dalam lima tingkatan interval yang terdiri dari sangat tinggi, tinggi, sedang, rendah, dan sangat rendah. Hasil interval sebagai berikut:

$$\text{Kategori Interval} = \frac{\text{Nilai tertinggi} - \text{Nilai terendah}}{\text{Jumlah kategori}} \quad (7)$$

$$\text{Kategori Interval} = \frac{5 - 1}{5} = 0,8 \quad (8)$$

Nilai sebaran interval hasil perhitungan kemudian diklasifikasikan ke dalam Tabel 13.

Tabel 13. Penilaian Analisis Deskriptif

Kategori	Interval
Sangat Rendah	$1 \leq x < 1,8$
Rendah	$1,8 \leq x < 2,6$
Sedang	$2,6 \leq x < 3,4$
Tinggi	$3,4 \leq x < 4,2$
Sangat Tinggi	$4,2 \leq x \leq 5$

Sumber: Hasil Analisis Data

Teknik pengumpulan data dalam tahap validasi dilakukan berdasarkan jawaban kuisioner yang diberikan oleh masyarakat lokal dan pemerintah. Instrumen penelitian yang digunakan berupa *skala likert*, yang akan memberikan jawaban bervariasi yaitu sangat setuju, setuju, ragu-ragu, tidak setuju dan sangat tidak setuju. Tabel skala likert dapat dilihat pada tabel 14.

Tabel 14. Pengukuran Skala Likert

No	Skala <i>Likert</i>	Pernyataan	Nilai
1	SS	Sangat Setuju	5
2	S	Setuju	4
3	N	Netral	3
4	TS	Tidak Setuju	2
5	STS	Sangat Tidak Setuju	1

Sumber : (Sugiyono, 2020)

Selanjutnya dalam teknik analisis data dibutuhkan rentang skala dari jawaban responden dalam mengetahui tinggi rendahnya hasil pengukuran masing-masing indikator dengan menggunakan rumus rentang skala (Sugiyono, 2020).

$$Rs = \frac{m - n}{b} \quad (9)$$

Keterangan :

Rs : Rentang Skala

m : Skor tertinggi

n : Skor terendah

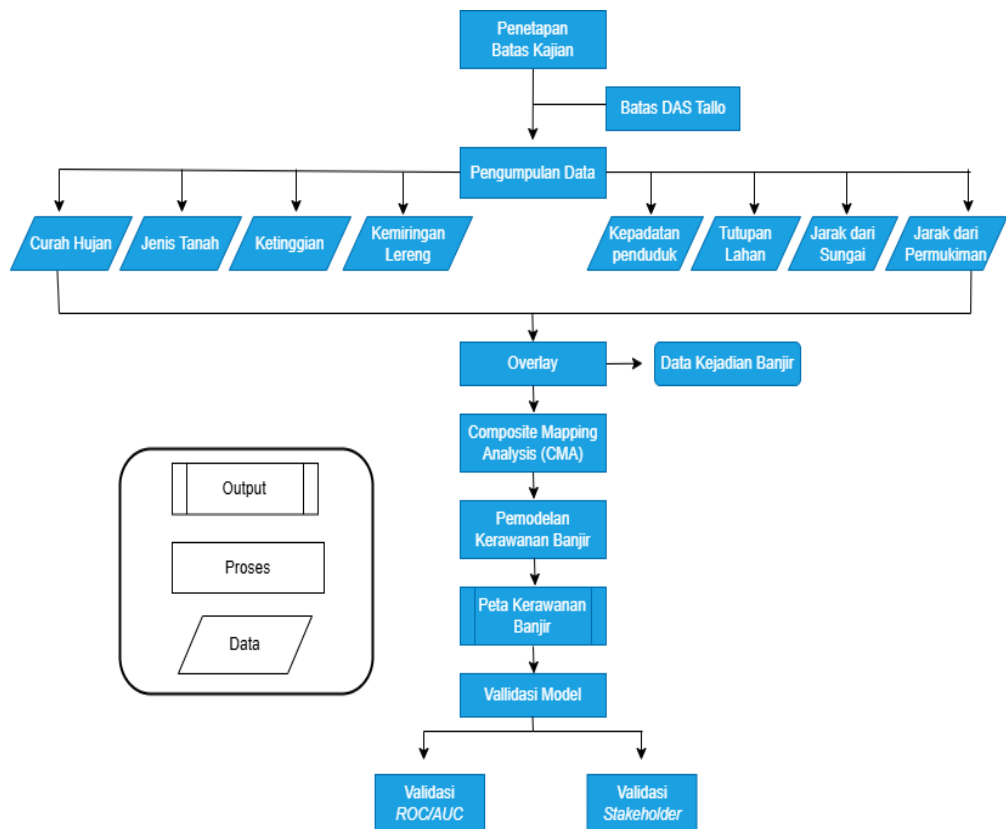
b : Jumlah kategori

Sehingga terbentuk tabel rentang skala sebagai berikut.

Tabel 15. Rentang Skala

Rentang Skala	Keterangan
1 – 1,8	Sangat Tidak Sesuai
1,9 – 2,6	Tidak Sesuai
2,7 – 3,4	Sedang
3,5 – 4,2	Sesuai
4,3 - 5	Sangat Sesuai

Sumber: Hasil Analisis Data



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian