

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang`

Kejadian bencana di tanah air didominasi oleh bencana hidrometeorologi yaitu berupa bencana banjir, longsor, dan angin puting beliung. Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) (2012), banjir termasuk bencana yang paling tinggi frekuensinya terjadi di Indonesia. Bencana banjir sendiri merupakan kondisi dimana pada daerah yang secara topografis dan geomorfologis bersifat kering (bukan daerah rawa) di mana tergenang oleh air yang terjadi akibat tingkat drainase tanah yang telah jenuh dalam menampung air dan kemampuan infiltrasi air ke dalam tanah yang mencapai batas maksimum. Biasanya bencana ini terjadi pada daerah-daerah yang memiliki topografi lebih rendah (cekungan), dengan tingkat curah hujan daerah yang cukup tinggi. Di samping itu dapat pula disebabkan oleh limpasan air permukaan (*runoff*) yang meluap dengan volumenya yang melebihi kapasitas sistem drainase atau sistem aliran sungai. Umumnya banjir sering terjadi di daerah perkotaan akibat dari pergeseran penggunaan lahan yang tidak didukung dengan tata kelola saluran air yang baik (Kumalawati dkk., 2016).

Data yang tercatat oleh BNPB menunjukkan bahwa kejadian bencana terus terjadi hingga BNPB merilis data bencana sepanjang tahun 2022. Di mana telah tercatat sebanyak 3.544 kejadian bencana yang terjadi di seluruh daerah yang di antaranya 1.531 kejadian bencana banjir yang merupakan kejadian bencana tertinggi di tahun tersebut (BNPB, 2023).

Daerah Aliran Sungai (DAS) Ujung Loe merupakan salah satu DAS yang ada di Sulawesi Selatan atau lebih tepatnya secara administrasi terletak di antara Kabupaten Bulukumba (Kecamatan Ujung Loe, Rilau Ale, Kindang dan Bulukumpa) dan juga berpotongan dengan Kabupaten Sinjai (Kecamatan Sinjai Barat dan Sinjai Borong) dengan luasan 20.473,48 ha. Pusat pengendalian operasi penanggulangan bencana (Pusdalops PB) BNPB (2023) melaporkan pada tanggal 24 Mei 2023 telah terjadi bencana hidrometeorologi berupa banjir dan tanah longsor yang terjadi di 3 kecamatan, yaitu Bonto Tiro, Herlang, dan Ujung Loe Kab. Bulukumba. Hujan ekstrim yang terjadi dengan waktu yang lama ditambah dengan sistem drainase yang kurang maksimal menyebabkan banjir di tiga kecamatan tersebut. Puluhan warga terdampak akibat bencana banjir ini. Hal ini sejalan dengan pandangan Ouma dan Tateishi (2014), bahwa bencana banjir merupakan salah satu bahaya yang sering terjadi dan bersifat menghancurkan kemudian berdampak pada kehidupan serta mengancam ekonomi masyarakat.

Berdasarkan kondisi yang memprihatinkan tersebut maka dilakukan penelitian mengenai analisis spasial tingkat kerawanan banjir untuk dapat mengetahui tingkat kerawanan banjir di DAS Ujung Loe. Di mana hal ini perlu dilakukan sebagai bahan informasi untuk pertimbangan dalam setiap pemanfaatan ruang serta memberikan gambaran yang dapat mendasari perencanaan dalam upaya mitigasi terjadinya bencana banjir. Tentunya dengan mengidentifikasi wilayah yang rawan terjadi banjir serta kriteria-kriteria yang berhubungan dengan integrasi model menggunakan *Spatial Multi Criteria Evaluation* (SMCE) dan *Anaytical Hierarchy Process* (AHP).

SMCE adalah suatu teknik yang membantu pengguna untuk membuat keputusan dari berbagai kriteria berdasarkan tujuan tertentu. Dengan demikian SMCE adalah alat yang ideal untuk pengambilan keputusan dengan menggunakan kriteria spasial yang dikombinasikan dan diberi bobot untuk mencapai tujuan secara menyeluruh. Sedangkan AHP merupakan suatu model yang dapat digunakan untuk pembobotan faktor kejadian kerawanan banjir. Model ini dikembangkan oleh Thomas L. Saaty dan saat ini dijadikan sebagai alat dalam mengambil keputusan serta menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan berbagai faktor-faktor. Penggunaan metode AHP dinilai menjadi hal yang lebih akurat, fleksibel dan mudah dipahami untuk membahas permasalahan yang luas.

1.2 Tujuan dan Kegunaan

Adapun tujuan dari penelitian diantaranya sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi kejadian banjir periode 2019 – 2023 di DAS Ujung Loe.
2. Menganalisis kriteria yang paling berpengaruh terhadap potensi terjadinya banjir di DAS Ujung Loe berdasarkan analisis menggunakan model *Analytical Hierarchy Process* (AHP).
3. Membuat peta tingkat kerawanan banjir di DAS Ujung Loe berdasarkan hasil analisis *Spatial Multi Criteria Evaluation* (SMCE).

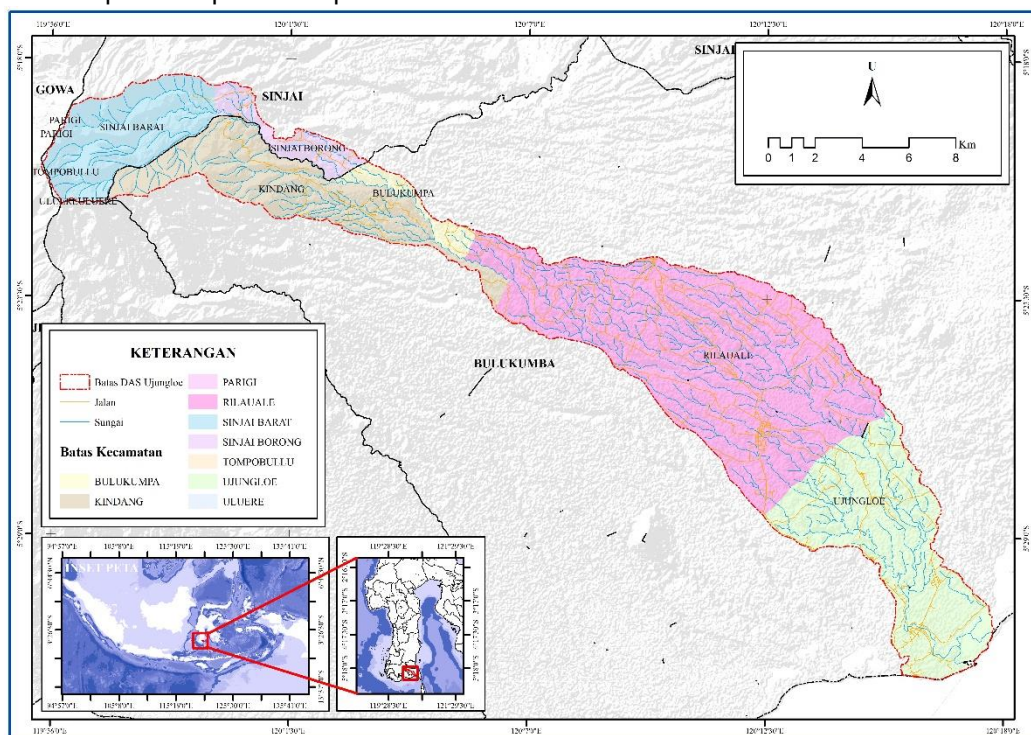
Adapun kegunaan dari penelitian ini adalah sebagai bahan informasi bagi masyarakat dan juga pemerintah setempat mengenai tingkat kerawanan banjir dengan melihat kriteria-kriteria penyebabnya dan juga sebagai bahan rujukan mitigasi dan adaptasi bencana banjir di DAS Ujung Loe.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September - November 2024. Lokasi penelitian berada di DAS Ujung Loe yang secara administrasi terletak di antara Kabupaten Bulukumba (Kecamatan Ujung Loe, Rilau Ale, Kindang dan Bulukumpa) dan juga berpotongan dengan Kabupaten Sinjai (Kecamatan Sinjai Barat dan Sinjai Borong) dengan luasan 20.473,48 ha. Pengolahan data dilakukan di Laboratorium Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin. Lokasi penelitian secara spasial dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Batas Administrasi DAS Ujung Loe

2.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian diuraikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Alat yang Digunakan dalam Penelitian

No.	Alat	Kegunaan
1	Komputer/laptop	Perangkat keras dalam menganalisis data
2	<i>Software</i> ArcGIS (ArcMAP) versi 10.4	Analisis data spasial
3	<i>Software Sentinel Application Platform</i> (SNAP)	Identifikasi Banjir
4	<i>Software</i> SPSS	Validasi tingkat kerawanan banjir
5	Alat tulis menulis	Mencatat segala hal yang penting selama penelitian
6	Kamera	Dokumentasi selama kegiatan penelitian
7	<i>Offline maps</i>	Pengambilan data di lapangan

Bahan yang digunakan merupakan beberapa kriteria-kriteria yang digunakan dalam menyusun data penelitian. Bahan yang digunakan diuraikan dalam Tabel 2.

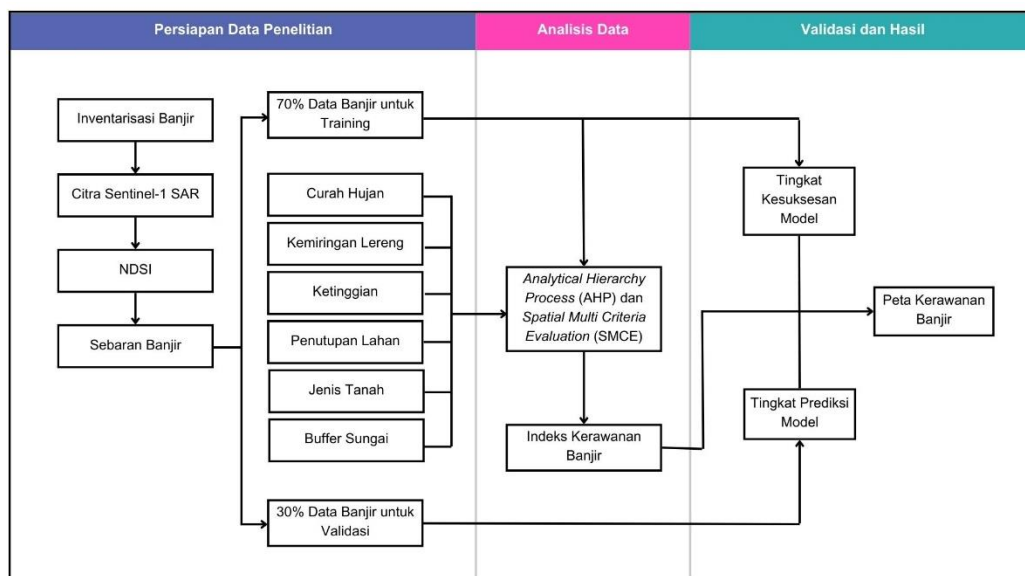
Tabel 2. Bahan yang Digunakan dalam Penelitian

No	Bahan	Sumber	Kegunaan
1	Peta batas DAS Ujung Loe	Batas DAS sesuai SK.304/MENLHK/PDASHL/DAS.0/7/2018 tentang penetapan peta daerah aliran sungai	Batas kajian penelitian
2	Citra <i>Sentinel-1</i> A sebelum kejadian banjir (20 Januari 2019, 26 Mei 2020, 08 Juli 2021, 21 Juni 2022, 23 Mei 2023) dan setelah kejadian banjir (11 Oktober 2019, 11 September 2020, 06 September 2021, 01 September 2022, 08 September 2023)	<i>Website</i> ESA (<i>European Space Agency</i>) http://scihub.copernicus.eu/	Digunakan dalam menginventarisasi kejadian banjir
3	Data curah hujan (10 tahun terakhir) 2014 – 2023	<i>Website</i> chrsdata.eng.uci.edu	Digunakan sebagai salah satu kriteria dalam penelitian ini
4	Data peta penutupan lahan	Hasil interpretasi citra <i>Sentinel-2</i> tahun 2023 yang diperoleh dari <i>website</i> scihub.copernicus.eu	Digunakan sebagai salah satu kriteria dalam penelitian ini
5	Data peta kemiringan lereng	Hasil analisis spasial data <i>Digital Elevation Model</i> (DEM) yang diperoleh dari <i>website</i> Badan Informasi Geospasial tanahair.indonesia.go.id	Digunakan sebagai salah satu kriteria dalam penelitian ini

No	Bahan	Sumber	Kegunaan
6.	Data peta ketinggian	Hasil analisis spasial data <i>Digital Elevation Model</i> (DEM) yang diperoleh dari <i>website</i> Badan Informasi Geospasial <i>tanahair.indonesia.go.id</i>	Digunakan sebagai salah satu kriteria dalam penelitian ini
7.	Data peta jenis tanah	Data sistem lahan (<i>landsystem</i>) RePPProT	Digunakan sebagai salah satu kriteria dalam penelitian ini
8.	Data peta jarak dari sungai	Data SHP Sungai RBI yang diperoleh dari <i>website</i> Badan Informasi Geospasial <i>tanahair.indonesia.go.id</i>	Digunakan sebagai salah satu kriteria dalam penelitian ini

2.3 Prosedur Penelitian

Pada tahapan ini dilakukan dengan pengumpulan data-data sekunder baik berupa peta dan tabel. Peta-peta penunjang yang telah dikumpulkan seperti peta batas DAS, peta penutupan lahan, peta jenis tanah, peta elevasi, peta kemiringan lereng dan peta jarak dari sungai di DAS Ujung Loe serta data curah hujan yang akan digunakan untuk keperluan analisis kriteria penentu kerawanan banjir pada *software* ArcGIS 10.4. Kemudian untuk data primer diperoleh dengan menyebarkan kuisioner perbandingan kriteria yang terlampir pada lampiran 1 kepada para pakar yang ahli di bidang kebencanaan atau yang terkait, kemudian hasilnya akan digunakan sebagai bobot tiap kriteria dalam menentukan kerawanan banjir nantinya. Adapun penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan meliputi persiapan data, pengolahan data, analisis data serta validasi data. Bagan alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alur Penelitian

2.4 Analisis Data

2.4.1 Inventarisasi Kejadian Banjir

Analisis kerawanan banjir dilakukan dengan menggunakan metode AHP yang memerlukan data kejadian banjir dan faktor penyebab banjir, data ini diperoleh berdasarkan hasil pengolahan menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Data peristiwa banjir yang dikumpulkan pada penelitian ini berdasarkan pada kejadian yang bersumber pada berita dan sumber literatur lainnya dengan rentan waktu dari tahun 2019 sampai tahun 2023 dengan menggunakan citra *Sentinel-1A SAR*.

Proses Pengolahan Citra Sentinel-1A SAR

Pengolahan data citra yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan informasi sebaran banjir dengan menggunakan perangkat lunak (*Software*) SNAP (*Sentinel Application Platform*) (Fernandes & Darmawan, 2018).

1) *Subset*

Subset (Pemotongan Citra) dilakukan untuk memotong citra sesuai dengan area lokasi penelitian sehingga aplikasi tidak perlu memproses seluruh citra dan tidak membutuhkan waktu yang lama dalam pengolahannya.

2) *Apply Orbit File*

Proses *Apply Orbit File* dilakukan untuk memperbarui orbit pada citra yang telah diunduh karena pada status orbit citra yang tersedia dalam Sentinel-1 ini umumnya tidak akurat, sehingga perlu disempurnakan melalui file orbit yang tepat dan tersedia. File orbit juga menyediakan informasi lokasi dan kecepatan satelit yang akurat.

3) *Thermal Noise Removal*

Proses *Thermal Noise Removal* dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi dampak *noise* pada tekstur di antara sub petak, serta menormalkan sinyal hamburan balik di seluruh *Sentinel-1 SAR*. Produk *Sentinel-1 Level-1* menyediakan *table look-up noise* (LUT) untuk setiap data pengukuran, yang diberikan dalam bentuk linier. Tabel ini digunakan untuk mendapatkan *noise* produk yang telah dikalibrasi sesuai dengan data *Ground Range Detected* (GRD).

4) *Calibrate*

Kalibrasi pada penelitian ini dilakukan untuk memproses komponen citra agar lebih jelas, sehingga dapat menghasilkan nilai *Sigma-nought* (dB). *Sigma-nought* dianggap sebagai pemisah yang efektif antara badan air dan permukaan tanah.

5) *Speckle Filtering*

Data pada citra SAR mengandung *speckle* akibat variasi pantulan radar dalam tiap piksel, yang disebabkan oleh beberapa sumber hamburan, seperti vegetasi. Untuk mengatasi *speckle*, filter dapat diterapkan guna menghasilkan citra yang lebih halus dan lebih akurat untuk pemrosesan selanjutnya.

6) *Terrain Correction*

Koreksi geometrik yang dilakukan pada *software* SNAP yaitu *Range Doppler Terrain Correction* yang menggunakan metode ortorektifikasi untuk *geocoding* SAR dari geometri radar sehingga menghasilkan citra yang dapat diproyeksikan. Proses ini melibatkan penggunaan *Digital Elevation Model* (DEM) untuk mengoreksi efek-efek geometri bawaan SAR seperti *foreshortening*, *layover*, dan *shadow*.

7) *Coregistration*

Proses *coregistration* merupakan penggabungan dua citra, yaitu citra sebelum banjir dan citra setelah banjir, menjadi satu yang kemudian akan diidentifikasi sebaran banjirnya dengan rumus *Normalized Difference Sigma Index* (NDSI).

Identifikasi Kejadian Banjir

Proses selanjutnya yaitu melakukan *Normalized Difference Sigma Index* (NDSI) untuk mengidentifikasi sebaran banjir dengan rumus menggunakan data sebelum banjir (*master*) dan sesudah banjir (*slave*) berikut.

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

Rumus tersebut kemudian diaplikasikan di *software* SNAP dengan *toolbox band maths*. Selanjutnya dalam memperoleh sebaran banjir dilakukan dengan menggunakan *expression (Change index >Minimum pixel) *255*. Nilai minimum *pixel* dapat diperoleh melalui *tools pixel* info. Data hasil pengolahan banjir ini selanjutnya diolah menggunakan *software* ArcGIS untuk dilakukan proses vektorisasi dan generalisasi agar mendapatkan data sebaran banjir. Setelah proses vektorisasi dilanjutkan dengan melakukan eliminasi pada luasan < 2 ha untuk setiap tahun kejadian banjir. Hasil dari seluruh data kemudian digabung untuk membentuk peta kejadian banjir.

2.4.2 Faktor Penyebab Banjir

Menganalisis tingkat kerawanan banjir dilakukan dengan analisis spasial menggunakan *software* ArcGIS 10.4

Parameter yang digunakan dalam penelitian berupa faktor-faktor penyebab terjadinya banjir yaitu curah hujan, penutupan lahan, kemiringan lereng, jenis tanah, elevasi dan Jarak dari sungai. Setiap kriteria memiliki bobot dan skor yang berbeda sehingga memberikan tingkatan pengaruh yang berbeda pula terhadap banjir.

- 1) Curah Hujan. Data curah hujan diperoleh dari situs CHRS yang kemudian dilakukan perhitungan curah hujan rata-rata harian 10 (sepuluh) tahun terakhir dari 2014 hingga 2023. Setelah itu, dilakukan pengolahan di aplikasi GIS untuk memperoleh curah hujan per tahun dengan menggunakan metode isohyet.
- 2) Penutupan Lahan. Penutupan lahan merupakan kriteria penting karena penutupan lahan berperan dalam penyerapan air di permukaan. Penutupan lahan yang ditanami oleh vegetasi memiliki penyerapan yang baik dibandingkan dengan daerah yang tidak ditanami oleh vegetasi. Data penutupan lahan dalam penelitian ini diperoleh dari hasil interpretasi citra *Sentinel-2* tahun 2023 yang diperoleh dari situs *Esa Copernicus*. Hasil dari digitasi tersebut selanjutnya dilakukan uji akurasi untuk melihat perbandingan antara data hasil interpretasi citra dengan kondisi lapangan. Uji akurasi dalam penelitian ini adalah uji akurasi kappa dengan bantuan *confusion matrix*, membandingkan antara nilai hubungan antara data referensi, basis kategori, serta hasil klasifikasi (Haryani, dkk., 2012)
- 3) Kemiringan lereng. Kemiringan lereng termasuk kriteria cukup penting karena semakin landai lereng suatu tempat maka semakin berpotensi terjadi banjir, begitu pula sebaliknya. Semakin curam lerengnya, maka semakin kecil akan terjadinya bencana banjir. Data kemiringan lereng pada penelitian ini diperoleh dari data DEMNAS yang selanjutnya diolah di aplikasi ArcGIS menggunakan *tools slope*

- untuk klasifikasi kelas lereng. Hasil dari klasifikasi kelas diperoleh 5 (lima) kelas kemiringan lereng yaitu 0 - 8 % (datar), 8 - 15 % (landai), 15 - 25 % (agak curam), 25 - 45 % (curam) dan >45% (sangat curam) (Latif, dkk., 2020).
- 4) Jenis Tanah. Jenis tanah pada suatu daerah sangat berpengaruh dalam proses penyerapan air. Data jenis tanah pada penelitian ini diperoleh dari sistem lahan RePPProT (*Regional Physical Planning Program for Transmigration*) (Darmawan, dkk., 2017).
 - 5) Ketinggian. Ketinggian (elevasi) diperoleh dari pengolahan data DEMNAS menggunakan *software ArcGIS tools natural breaks* untuk memperoleh klasifikasi kelas ketinggian. Hasil yang diperoleh terdapat 5 (lima) kelas ketinggian yaitu 0 - 250 m, 250 - 500 m, 500 - 750 m, 750 - 1000 m, 1000 - 1500 m dan >1500 m (Latif, dkk., 2020).
 - 6) Jarak dari sungai (buffer sungai) digunakan sebagai salah satu kriteria karena bangunan atau daerah yang berada dekat dari sungai akan memiliki potensi yang lebih tinggi terhadap terjadinya kejadian banjir. Jarak dari sungai diperoleh dari data DEMNAS dan selanjutnya diolah di *software ArcGIS* menggunakan *tools hydrology* yang akan menghasilkan aliran sungai. Selanjutnya digunakan *tools Euclidean Distance* untuk memperoleh jarak dari jaringan sungai dengan satuan m (meter) kemudian dilakukan klasifikasi kelas menjadi 5 (lima) kelas yaitu 0 - 25 m, 25 - 50 m, 50 - 75 m, 75 - 100 m dan >100 m (Kusumo dan Nursari, 2016)

2.4.3 Pengolahan Data

Analisis Metode Spatial Multi Criteria Evaluation (SMCE)

Proses Metode Spatial Multi Criteria Evaluation (SMCE) diawali dengan skoring kerentanan dengan angka 1-5 yang mana semakin mendekati angka 1 berarti semakin rendah pengaruhnya terhadap tingkat kerentanan dan sebaliknya semakin mendekati angka 5 maka semakin besar pengaruhnya. Skor yang telah diberikan kemudian dikalikan dengan hasil bobot atau nilai dari tiap kriteria yang mempengaruhi bencana banjir melalui AHP (Pramono, dkk., 2018).

Analisis Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)

Proses AHP dimulai dengan penyusunan kuesioner yang akan diisi oleh responden terpilih. Kuesioner penelitian ini berisi pengantar kepada responden, formulir identitas responden, petunjuk pengisian kuesioner dan tabel skala penilaian bobot kriteria oleh responden. Kuesioner penelitian dapat dilihat pada Lampiran 1. Dalam penelitian ini, pemilihan sampel dilakukan dengan menggunakan teknik *Purposive Sampling*, yaitu teknik pengambilan yang difokuskan pada responden yang terkait dengan variabel penelitian. Penelitian ini melibatkan *stakeholder* atau informan yang dianggap ahli dan memiliki pemahaman terkait kebencanaan. Berdasarkan dengan hal tersebut, sampel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

- 1) 1 orang dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Klimatologi Sulawesi Selatan
- 2) 1 orang dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Meteorologi Maritim Makassar
- 3) 1 orang dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah IV Makassar
- 4) 1 orang dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kab. Bantaeng

- 5) 1 orang dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kab. Bulukumba
- 6) 1 orang dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kab. Sinjai
- 7) 1 orang dari Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kab. Bulukumba
- 8) 1 orang dari Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kab. Sinjai
- 9) 1 orang dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Kab. Bulukumba
- 10) 2 orang dari Dosen Departemen Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin
- 11) 1 orang dari Dosen Departemen Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Hasil pengisian kuesioner selanjutnya diolah menggunakan perbandingan berpasangan pada matriks *pairwise comparison* yang nantinya akan digunakan untuk menghitung bobot dari kriteria penelitian. Matriks *pairwise comparison* merupakan metode perbandingan berpasangan yang berfungsi untuk menentukan besar kecilnya keterkaitan antara faktor satu dengan yang lainnya (Panoto, dkk., 2020). Nilai pada matriks perbandingan berpasangan dimulai dari nilai 1 yang merupakan nilai terendah dan nilai 9 merupakan nilai tertinggi yang menunjukkan kriteria-kriteria penentu kerawanan banjir dari kurang penting hingga jauh lebih penting. Tingkat kepentingan masing-masing kriteria dapat dilihat skala perbandingannya pada Tabel 3.

Tabel 3. Skala Perbandingan Tingkat Kepentingan (Saaty, 1994)

Intensitas Kepentingan	Keterangan
1	Kedua elemen sama pentingnya
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada elemen yang lainnya
5	Elemen yang satu lebih penting daripada yang lainnya
7	Satu elemen jelas lebih mutlak penting daripada elemen lainnya
9	Satu elemen mutlak penting daripada elemen lainnya
2, 4, 6, 8	Nilai-nilai antara dua kriteria pertimbangan-pertimbangan yang berdekatan

Skala perbandingan di atas diisi dengan cara menentukan kriteria mana yang lebih penting. Pada setiap kotak akan dibandingkan kriteria satu dengan kriteria lainnya dan diberikan nilai bobot kepentingan dari 1 sampai 9. Sebagai contoh penyusunan sistematis perbandingan berpasangan yang membentuk matriks, misalnya kriteria A memiliki beberapa kriteria di bawahnya yaitu B₁, B₂, ..., B_n, tabel matriks berpasangan berdasarkan kriteria A pada Tabel 4.

Tabel 4. Contoh Matriks Perbandingan Berpasangan (Saaty, 1994)

A	B ₁	B ₂	...	B _n
B ₁	1	α_{12}	...	α_{1n}
B ₂	$\alpha_{21} = 1/\alpha_{12}$	1	...	α_{2n}
...	...	...	1	...
B _n	$\alpha_{n1} = 1/\alpha_{1n}$	$\alpha_{n2} = 1/\alpha_{2n}$	...	1

Sebagaimana pada tabel di atas, bahwa kriteria kolom sebelah kiri selalu dibandingkan dengan partikel baris dengan demikian ketika kriteria baris tampil sebagai faktor kolom maka diberi nilai kebalikannya dan juga sebaliknya.

Untuk mendeteksi tingkat konsistensi responden, metode AHP harus melakukan perhitungan *Consistency Index* (CI) sebagai berikut:

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Setelah diperoleh CI, maka hasilnya dibandingkan dengan *Random Consistency Index* (RI) kepada setiap n sasaran. Hasil perbandingan antara CI dengan RI disebut dengan nilai *Consistency Rasio* (CR).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

Random Consistency Index (RI) matriks berukuran 1 sampai dengan 10 bisa dilihat pada Tabel 5 berikut ini:

Tabel 5. *Random Consistency Index* (RI) (Saaty, 1994)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Jika $CR < 0,1$ (10%) maka derajat konsistensi memuaskan dan jika $CR > 0,10$ berarti ada ketidakkonsistenan saat menetapkan skala perbandingan sepasang kriteria. Pada penelitian ini digunakan nilai RI 1,24 yang didasarkan pada parameter yang digunakan yaitu 6 parameter penyebab terjadinya banjir.

Uji Akurasi Klasifikasi Citra

Perhitungan uji akurasi data hasil klasifikasi citra dilakukan dengan menggunakan tabel *confusion matrix*. Data hasil klasifikasi citra dan hasil pengecekan di lapangan disusun dalam sebuah tabel perbandingan persentase atau tabel *confusion matrix* pada Tabel 6 berikut ini:

Tabel 6. *Confusion Matrix* (Sariyani, 2020)

		Data Interpretasi Citra			Total Baris	<i>Producer's Accuracy</i>
		A'	B'	C'		
Data Acuan	A	X_{ii}			X_{i+}	X_{ii} / X_{i+}
	B		X_{ij}			
	C			X_{ij}		
Total Kolom		X_{+i}				
<i>User's Accuracy</i>		X_{ii} / X_{+i}				$\sum X_{ii}$

Keterangan:

A, B, C = Data acuan

A', B', C' = Data interpretasi citra

X_{ii} = Data yang diuji

X_{+i} / X_{i+} = Jumlah masing-masing data acuan /klasifikasi citra

N = Total data yang diuji

Uji akurasi interpretasi citra dilakukan untuk mengetahui sejauh mana tingkat keakuratan interpretasi citra yang dilakukan. Uji akurasi dapat menggunakan rumus *kappa accuracy* (KA), di mana persentase akurasinya menggunakan semua elemen

confusion matrix. Tingkat keakuratan interpretasi citra dapat diterima jika memperoleh nilai kappa >81% (Landis dan Koch, 2012).

Nilai kappa terdiri atas tiga kategori, yaitu akurasi pengguna (*user's accuracy*), akurasi pembuat (*producer accuracy*), dan akurasi keseluruhan (*overall accuracy*). *User's accuracy* mengacu pada sampel (data penutupan lahan) yang diklasifikasikan dengan benar terhadap data referensi dalam kategori tertentu, sedangkan *producer accuracy* mewakili kategori pada data referensi tertentu yang diklasifikasikan dengan benar. Proses tersebut disebut kappa accuracy dengan persamaan matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{User's accuracy} &= \frac{X_{ii}}{X_{i+}} \times 100\% \\ \text{producer accuracy} &= \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \times 100\% \\ \text{Kappa accuracy} &= \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i=x+i}}{N^2 \sum_{i=1}^r x_{i=x+i}} \times 100\% \end{aligned}$$

Keterangan:

X_{ii} = Nilai diagonal matriks kontingensi baris ke-i dan kolom ke-i
 X_{i+} = Jumlah piksel dalam baris ke-i
 X_{+i} = Jumlah Piksel dalam kolom ke-i
 N = Banyaknya piksel dalam contoh

2.4.4 Analisis Peta Kerawanan Banjir

Indeks Kerawanan Banjir

Penentuan indeks kerawanan banjir diawali dengan proses perhitungan bobot data antar parameter sehingga menghasilkan peta kerawanan banjir dari hasil menggunakan analisis spasial. Seluruh peta tematik yang telah dihasilkan dianalisis melalui teknik analisis spasial (*raster calculate*) berdasarkan persamaan. Untuk klasifikasi indeks kerawanan banjir (FSI) ditunjukkan pada persamaan 4. Sedangkan untuk Penentuan kelas rawan banjir didasarkan pada total nilai bobot yang dihasilkan dari penjumlahan hasil perkalian antara skor variabel dan bobot dari setiap parameter yang digunakan.

$$\begin{aligned} \text{FSI} = & (\sum (\text{Bobot CH} \times \text{CH}) + (\text{Bobot PL} \times \text{PL}) + (\text{Bobot KL} \times \text{KL}) \\ & + (\text{Bobot EL} \times \text{EL}) + (\text{Bobot JS} \times \text{JS}) + (\text{Bobot JT} \times \text{JT})) \end{aligned} \quad (4)$$

Keterangan:

FSI	= Indeks Kerawanan Banjir	EL	= Elevasi
CH	= Curah Hujan	JS	= Jarak dari Sungai
PL	= Penutupan Lahan	JT	= Jenis Tanah
KL	= Kemiringan Lereng		

Penetapan klasifikasi tiap kriteria dapat menggunakan rumus berikut:

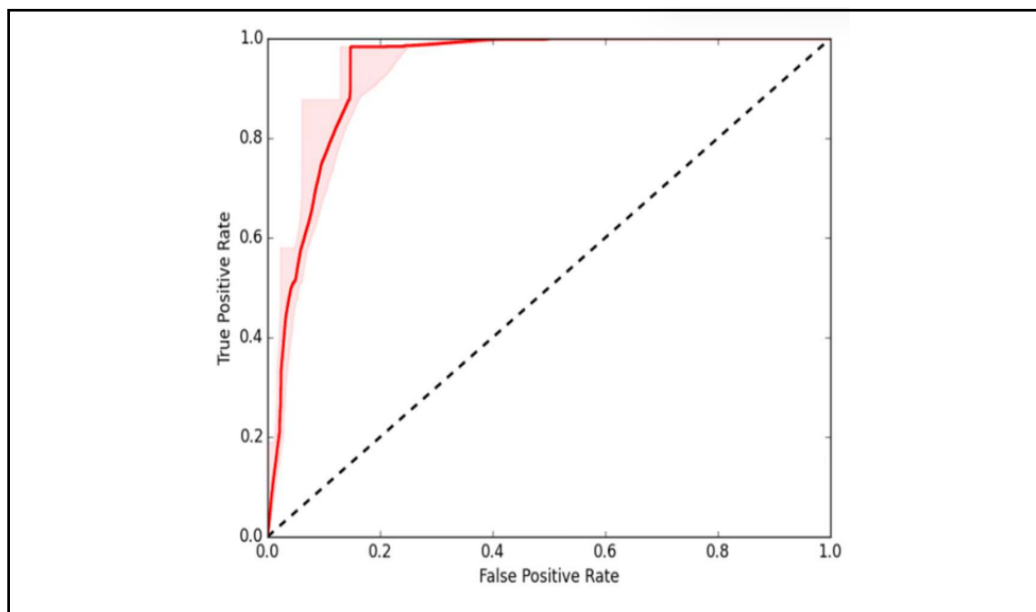
$$K_i = \frac{X_t - X_r}{k} \quad (5)$$

Keterangan:

K_i = Kelas interval
 X_t = Data tertinggi
 X_r = Data terendah
 k = Kelas interval yang diinginkan

Uji Validasi Peta Tingkat Kerawanan Banjir

Evaluasi validitas dan akurasi hasil analisis multi kriteria, terutama pada model pendekatan analisis AHP, merupakan bagian penting. Penggunaan *Area Under Curve* (AUC) berdasarkan data kejadian banjir di lapangan dan catatan sejarah menjadi alat validasi yang efektif untuk model AHP karena kesederhanaan, kelengkapan, dan efisiensinya. AUC dengan nilai 1 menunjukkan tingkat akurasi maksimal tanpa bias, meskipun AUC di atas 0,5 umumnya dianggap sebagai model yang sangat akurat dan dapat diterima. Dalam penelitian ini, peta kerentanan banjir yang dihasilkan oleh metode AHP dibagi menjadi lima kelas. Titik-titik hasil observasi dan wawancara terkait banjir dipetakan dalam koordinat X dan Y, serta jumlah kejadian banjir di setiap kelas dibandingkan dengan peta hasil analisis kerawanan banjir. Persentase kejadian banjir dan persentase piksel di setiap kelas dihitung berdasarkan data tersebut. Keakuratan model kerentanan banjir dapat diuji secara kuantitatif dengan menggunakan kurva *Receiver Operating Characteristic* (ROC) yang membandingkan akurasi peta kerawanan dengan data lokasi kejadian banjir di lapangan. Tingkat prediksi model menunjukkan kemampuannya untuk memprediksi area tertentu dengan mengukur luas area di bawah kurva prediksi, yang dikenal sebagai *Area Under Curve* (AUC). Berikut adalah contoh kurva hasil validasi (Muttaqin, dkk., 2023).



Gambar 3. Contoh kurva *Area Under Curve* (AUC) untuk Peta Kerawanan Banjir