

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki letak geografis berada di antara dua benua dan dua samudera dengan iklim tropisnya yang menjadikan Indonesia memiliki kondisi iklim dan cuaca yang khas. Kondisi ini mengakibatkan Indonesia menjadi salah satu negara yang memiliki intensitas curah hujan yang tinggi sehingga menyebabkan bencana banjir (Tukidi, 2020).

Banjir sebagai fenomena alam yang hakikatnya merupakan proses alamiah dapat menjadi bencana bagi manusia jika kejadian tersebut berdampak langsung pada mereka dan menyebabkan kerugian, baik dalam bentuk kehilangan nyawa maupun kerusakan materi. Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana atau BNPB (2020) banjir adalah peristiwa atau keadaan di mana terendamnya suatu daerah atau daratan karena volume air yang meningkat. Perkembangan pertumbuhan penduduk cukup pesat pada suatu wilayah akan berakibat kepada intensitas penggunaan lahan yang semakin tinggi dan kecenderungan meluasnya lahan untuk pemenuhan kebutuhan. Salah satu penyebab banjir diantaranya kondisi fisik dari DAS yang sangat mempengaruhi terjadinya banjir adalah kemampuan tanah dalam meresapkan air hujan, faktor lereng serta jarak dari badan air. Wilayah yang memiliki risiko banjir lebih tinggi umumnya berada di sekitar sungai dengan permukaan datar atau di daerah dengan sistem drainase yang kurang optimal. Selain itu, aktivitas manusia dalam pemanfaatan lahan juga dapat mempengaruhi kondisi fisik DAS, yang pada akhirnya berdampak pada potensi banjir (Septian dkk., 2020). Faktor lain yang turut berkontribusi terhadap banjir adalah minimnya pengetahuan dan kurangnya kesiapan masyarakat dalam manajemen bencana. Oleh karena itu, pengetahuan tentang mitigasi atau pencegahan banjir sangat penting untuk meningkatkan pemahaman masyarakat serta dapat memberikan informasi mengenai upaya penanggulangan bencana, sehingga dapat meminimalkan dampak kerusakan yang ditimbulkan oleh banjir (Santosa, 2015).

Daerah Aliran Sungai (DAS) Ujung Loe merupakan salah satu DAS Provinsi Sulawesi Selatan yang terletak di Kabupaten Bulukumba (Kecamatan Ujung Loe, Rilau Ale, Kindang dan Bulukumpa) dan Kabupaten Sinjai (Kecamatan Sinjai Barat dan Sinjai Borong) dengan luasan 20.473,48 ha. Daerah yang berada di DAS Ujung Loe merupakan daerah yang sering mengalami kejadian bencana banjir. Menurut Badan Penanggulangan Bencana Daerah atau BPBD Provinsi Sulawesi Selatan sebanyak 630 kejadian bencana banjir yang terjadi di Sulawesi Selatan selama 5 tahun terakhir. Beberapa diantaranya terjadi di Kabupaten Bulukumba dan Kabupaten Sinjai. Tercatat dari tahun 2019 hingga tahun 2023 kurang lebih 33 desa atau kelurahan yang terdampak banjir, tersebar di beberapa kecamatan yang di Kabupaten Bulukumba, dimana kecamatan Ujung Loe dan Rilau Ale menjadi wilayah yang sering terdampak banjir. Intensitas curah hujan yang tinggi dan berkepanjangan di wilayah Kecamatan Ujung Loe menyebabkan terjadinya banjir yang menyebabkan beberapa rumah, sawah dan empang tergenang air. Identifikasi sebaran banjir di wilayah tersebut sangat perlu dilakukan. Ketersediaan informasi genangan banjir secara *real time* adalah sangat penting bagi pengambilan keputusan seperti pemerintah daerah karena banjir dapat mempengaruhi aktivitas manusia (Tsyganskaya, dkk. 2018). Salah satu cara untuk

mengidentifikasi banjir adalah dengan menganalisis data penginderaan jauh dari waktu ke waktu. Pemilihan tipe metode diperlukan untuk menentukan tipe model yang sesuai untuk digunakan dalam mengidentifikasi sebaran banjir. Salah satu metode yang dapat digunakan yaitu dengan pemanfaatan citra *Sentinel-1* menggunakan teknologi *Synthetic Aperture Radar* (SAR).

SAR (*Synthetic Aperture Radar*) adalah teknik penginderaan jauh yang memanfaatkan sensor aktif dengan menggunakan gelombang mikro dari spektrum elektromagnetik. Menurut Badan Riset dan Inovasi (BRIN) (2023), *Synthetic Aperture Radar* (SAR) ialah sistem pencitraan yang bekerja seperti kamera, tetapi menggunakan gelombang mikro yang disintesis untuk menghasilkan gambar yang beresolusi tinggi. SAR ialah sensor aktif yang memancarkan energi dengan frekuensi tertentu dan menerima pantulan objek yang diamati. Pantulan tersebut berbentuk data mentah yang nantinya akan diproses menjadi citra. *Sentinel-1* yang merupakan salah satu teknologi SAR, memiliki kemampuan menembus segala kondisi cuaca dan mendeteksi area banjir dengan mudah, menjadikan teknologi ini sangat efektif untuk pemantauan banjir dari luar angkasa. Keunggulan SAR terletak pada kemampuannya beroperasi pada panjang gelombang yang tidak terpengaruh oleh awan atau minim pencahayaan, sehingga dapat merekam data baik siang maupun malam dalam berbagai kondisi cuaca (ESA, 2020).

Dalam beberapa penelitian tidak sedikit yang memanfaatkan teknologi SAR dalam bidang kebencanaan. Penelitian yang dilakukan oleh Fawwazudin dan Dewi (2023), dengan mengidentifikasi sebaran banjir dengan memanfaatkan teknologi SAR. Dalam penelitiannya dengan menggunakan citra *Sentinel-1*, mereka mengidentifikasi sebaran banjir dan luasan banjir yang terdapat maupun tidak di wilayah penelitiannya. Mereka memaparkan bahwa dengan adanya pemanfaatan teknologi SAR dalam deteksi kejadian banjir ini diharapkan mampu memberikan informasi awal dalam melakukan penanggulangan bencana banjir. Selain itu, pada penelitian yang dilakukan oleh Fajrin dkk., (2019) dalam penelitiannya mengemukakan sebuah kerangka kerja untuk mendeteksi wilayah terdampak banjir menggunakan data SAR yang tersedia secara gratis serta dengan sumber daya terbuka. Pendekatan ini menawarkan solusi yang efisien dari segi biaya dan waktu untuk pemantauan banjir yang mendekati real-time. Oleh karena itu, mereka menyimpulkan bahwa dalam manajemen respons bencana seperti banjir, informasi mengenai sebaran banjir sangat penting untuk membantu otoritas pemerintah dalam mengambil keputusan.

Manajemen respon yang efektif dalam mitigasi bencana, perlu adanya pemetaan daerah rawan banjir yang dapat digunakan sebagai acuan. Data sebaran banjir dalam penelitian ini kemudian digunakan sebagai salah satu acuan dalam memetakan daerah yang rawan terhadap bencana banjir. Pemetaan wilayah dengan tingkat risiko banjir pada penelitian ini menggunakan metode Frekuensi Rasio (FR). Metode ini digunakan untuk mengetahui tingkat pengaruh faktor-faktor terhadap potensi terjadinya banjir dengan cara membandingkan dengan menggunakan data kejadian banjir pada faktor tersebut (Marjawi, dkk., 2024). Frekuensi rasio dapat dikatakan metode yang sederhana dengan mengaitkan setiap faktor penyebab banjir, mudah diaplikasikan dan sangat efisien dalam pemodelan kerawanan banjir (Sandana dan Patel, 2019). Adapun penelitian telah melakukan dengan menggunakan metode ini diantaranya Fauziyah, dkk. (2022) yang meneliti mengenai pemetaan kerawanan banjir yang berada di Kecamatan

Mojoagung Kabupaten Jombang dari hasil penelitiannya menyimpulkan bahwa bahwa metode ini dinilai cukup efektif dalam memetakan kerawanan banjir.

Pemetaan tingkat kerawanan banjir sangat penting dilakukan agar pemerintah dapat merumuskan kebijakan yang tepat dalam upaya penanggulangan bencana banjir (Darmawan dkk., 2017). Hasil dari pemetaan daerah-daerah bahaya banjir tersebut berupa peta kerawanan banjir yang ada di wilayah penelitian. Oleh karena itu, pentingnya dilakukan penelitian identifikasi kejadian banjir di DAS Ujung Loe menggunakan citra satelit *Synthetic Aperture Radar* (SAR) untuk mengidentifikasi daerah yang terdampak banjir dan mengetahui tingkat kerawanan banjir dengan menggunakan metode Frekuensi Rasio (FR) sehingga dapat dijadikan sebagai sumber informasi dalam respon tanggap bencana banjir.

1.2 Tujuan dan Kegunaan

Berdasarkan uraian di atas, tujuan dan kegunaan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

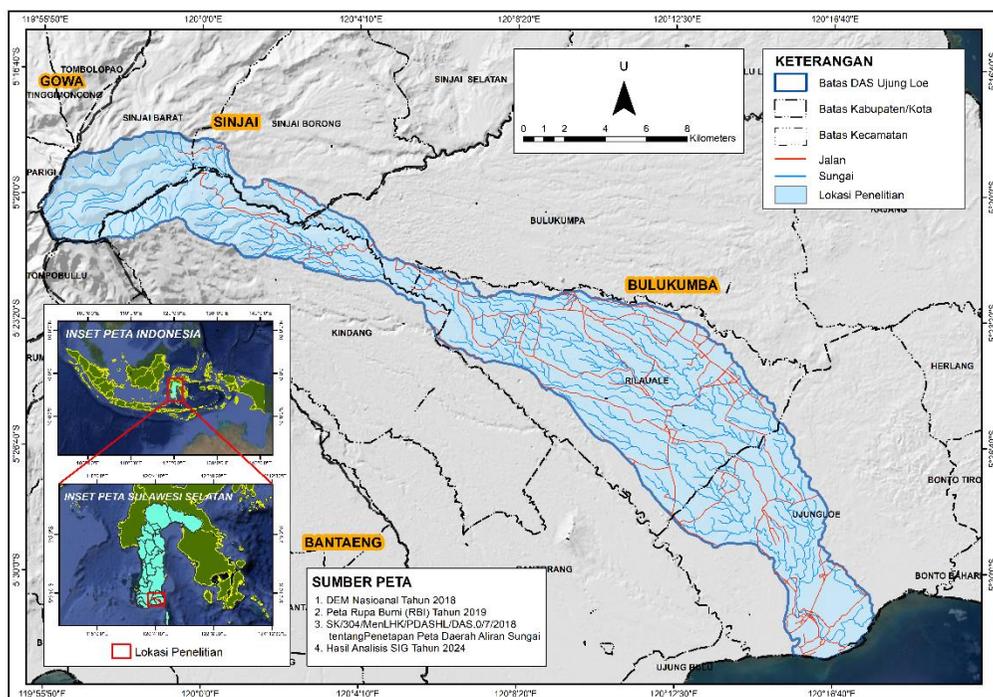
1. Mengidentifikasi daerah sebaran banjir di DAS Ujung Loe
2. Menganalisis faktor yang paling berpengaruh terhadap terjadinya banjir di DAS Ujung Loe
3. Membuat peta tingkat kerawanan banjir DAS Ujung Loe

Kegunaan penelitian ini untuk mengetahui daerah sebaran banjir dengan memanfaatkan teknologi citra satelit *Synthetic Aperture Radar* (SAR). Hasil tersebut diolah menjadi peta sebaran banjir dan peta kerawanan banjir dengan menggunakan metode Frekuensi Rasio (FR) yang kemudian digunakan sebagai sumber informasi untuk melakukan respon tanggap bencana banjir di DAS Ujung Loe.

BAB II. METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret – Desember 2024. Lokasi penelitian ini berada di DAS Ujung Loe yang secara administrasi terletak di 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. Terdapat 2 kegiatan yang dilakukan yaitu pengolahan data dan validasi lapangan. 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 lokasi penelitian

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Alat penelitian

No.	Alat	Kegunaan
1.	Komputer/Laptop	Perangkat keras dalam menganalisis data
2.	Software ArcGIS (ArcMAP) versi 10.4	Analisis data spasial
3.	Software SNAP (<i>Sentinel Application Platform</i>)	Analisis citra <i>Sentinel-1</i> SAR untuk inventarisasi kejadian banjir

No.	Alat	Kegunaan
4.	Receiver GPS (Globe Positioning System)	Mengetahui posisi koordinat geografis lokasi penelitian
5.	Alat tulis menulis	Mencatat segala hal yang penting selama penelitian
6.	Kamera/Smartphone	Dokumentasi selama kegiatan penelitian

2.1.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat pada Table 2 dilihat sebagai berikut:

Tabel 2. Bahan penelitian

No.	Bahan	Kegunaan
1.	Citra <i>Sentinel-1A</i> SAR dalam format <i>Ground Range Detected High</i> (GRDH) Tahun 2019-2023. Sebelum banjir (8 Januari 2019, 2 Mei 2020, 2 Juni 2021, 4 Mei 2022, dan 11 Mei 2023). Kejadian banjir (20 Januari 2019, 26 Mei 2020, 8 Juli 2021, 21 Juni 2022, dan 28 Juni 2023).	Inventarisasi sebaran banjir
2.	Citra <i>Sentinel-2A</i> Tahun 2023	Analisis Penutupan Lahan
3.	DEMNAS (Digital Elevation Model Nasional) Tahun 2018	Data pembangun kemiringan lereng, elevasi, jarak dari sungai, kerapatan sungai, TWI dan SPI
4.	Peta Batas DAS Ujung Loe	Peta lokasi penelitian
5.	Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Tahun 2019	Data pendukung analisis
6.	Data Spasial Curah Hujan Tahun 2019-2023	Data pembangun faktor curah hujan
7.	Peta Jenis Tanah RePPProt	Data Pembangun faktor jenis tanah
8.	Peta Geologi	Data pembangun faktor litologi
9.	Data permanent water	Data pembangun masking banjir

1) Citra *Sentinel-1*

Citra satelit *Sentinel-1* merupakan hasil dari satelit yang dirancang dan dikembangkan oleh European Space Agency (ESA).. Satelit ini memiliki masa operasi utama selama 7 tahun dan dapat berfungsi hingga 12 tahun. *Sentinel-1A* diluncurkan oleh ESA pada 3 April 2014. Satelit memiliki resolusi temporal yang sama, dengan siklus ulang pemindaian setiap 12 hari. Misi *Sentinel-1* digunakan untuk memantau permukaan bumi, termasuk hutan, perairan, tanah, dan pertanian, serta untuk mitigasi bencana alam, pemantauan kelautan, pemetaan tumpahan minyak, dan pengamatan perubahan iklim. *Sentinel-1* dilengkapi dengan sensor Radar C-band yang mendukung polarisasi tunggal dan ganda. Polarisasi SAR memungkinkan karakterisasi objek permukaan, mulai dari tanah hingga hamburan terpolarisasi, sehingga memberikan perspektif baru dalam identifikasi dan klasifikasi citra (ESA, 2012).

Tabel 3. Detail spesifikasi satelit *Sentinel-1* (Torres,dkk., 2012).

Spesifikasi	Deskripsi
Orbit	Near Polar Sun-Synchronous
Ketinggian	693 km
Periode Orbit	98,6 menit
Inklinasi	98,18 derajat
Design Life	7 Tahun (maksimum 12 tahun)
Resolusi Temporal	12 hari dengan 175 orbit untuk 1 putaran (*khusus 1 satelit)6 hari (*dengan 2 satelit konstelasi)
Berat Peluncuran	2300 kg
Dimensi	3900 x 2600 x 2500 mm ³
Solar Array Average Power	5900W
Kapasitas Baterai	324 Ah
Data Rate	2 x 260 Mbps
Peluncur	Roket Soyuz, diluncurkan di Kourou

Satelit *Sentinel-1* dapat beroperasi dalam mode polarisasi tunggal (HH atau VV) maupun polarisasi ganda (HH+VV atau VV+VH). Resolusi spasial data *Sentinel-1* bervariasi tergantung pada mode akuisisi data yang digunakan. Berikut beberapa mode akuisisi data *Sentinel-1* (ESA Sentinel Online, 2000-2019 dalam Kasanah dkk., 2021):

- Stripmap Mode (SM): Lebar cakupan 80 km, resolusi spasial 5 x 5 m.
- Interferometric Wide Swath Mode (IW): Lebar cakupan 250 km, resolusi spasial 5 x 20 m.
- Extra-Wide Swath Mode (EW): Lebar cakupan 400 km, resolusi spasial 20 x 40 m.
- Wave Mode (WV): Lebar cakupan 20 km dengan interval setiap 100 km, resolusi spasial 5 m, tersedia dalam sudut insiden 23° dan 36,5°.

Satu mode utama untuk pengamatan darat adalah Interferometric Wide Swath (IW). Mode ini merupakan mode operasional utama yang menyediakan data level-1 SLC (Single Look Complex) dan GRDH (Ground Range Detected High) dengan resolusi spasial 5 x 20 m serta cakupan perekaman mencapai 250 km. Mode IW beroperasi dengan polarisasi ganda (HH+HV atau VV+VH). Satelit *Sentinel-1A* menghasilkan data dengan polarisasi VV dan VH dalam lintasan ascending maupun descending. Polarisasi VV adalah sinyal radar yang dipancarkan dan diterima dalam orientasi vertikal, sedangkan polarisasi VH dipancarkan secara vertikal dan diterima dalam orientasi horizontal terhadap pesawat. Variasi data yang dihasilkan memberikan karakteristik yang berbeda, sehingga citra satelit *Sentinel-1* SAR banyak digunakan untuk mengidentifikasi wilayah genangan banjir. Citra satelit *Sentinel-1A* diperoleh melalui situs web ESA (European Space Agency) di <http://scihub.copernicus.eu/>.

Data yang digunakan mencakup periode sebelum dan sesudah kejadian banjir dalam rentang lima tahun terakhir, yaitu dari 2019 hingga 2023. Berdasarkan Tabel 2 pemilihan tanggal sebelum banjir didasarkan pada bulan kering atau bulan yang memiliki curah hujan terendah yang terjadi pertahun, dimana data waktu tersebut diambil dari data curah hujan yang digunakan pada penelitian. Pemilihan tanggal setelah banjir bersumber dari artikel, berita, data BPBD, data statistik daerah yang menginformasikan mengenai kejadian banjir di wilayah penelitian.

2) Citra Sentinel 2A Tahun 2023

Sentinel-2 merupakan salah satu citra satelit dari ESA (*European Space Agency*). Sentinel-2 yang memiliki 13 band, 4 band yang resolusinya 10 m, 6 band yang resolusinya 20 m, dan 3 band yang resolusinya 60 m dengan area sapuan 290 km (Kawamuna, dkk., 2017). Satelit Sentinel-2A memiliki resolusi temporal selama 10 hari untuk satelit tunggal dan 5 hari untuk dua satelit dengan resolusi radiometriknya mencapai 12 bit (Dimara, dkk., 2020). Sentinel-2 dimanfaatkan untuk monitoring lahan dan menyediakan data dasar mengenai penggunaan lahan yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi monitoring serta kepentingan dalam perencanaan lingkungan (Kawamuna, dkk., 2017). Citra ini didapatkan dari website ESA (*European Space Agency*) <http://scihub.copernicus.eu/> Citra satelit Sentinel-2A yang digunakan pada tahun 2023.

3) DEMNAS (*Digital Elevation Model Nasional*)

DEMNAS (*Digital Elevation Model Nasional*) adalah data model elevasi yang dikembangkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG). Menurut Wibowo (2019), DEM Nasional dibangun dengan mengintegrasikan berbagai sumber data, seperti IFSAR, TERRASAR-X, dan ALOS PALSAR, serta data massa *point* yang diperoleh melalui teknik *stereoplottting*. DEMNAS memiliki resolusi spasial sebesar 0,27 arcsecond atau setara dengan 8 x 8 meter, dengan menggunakan datum vertikal EGM2008 (Mahfudz dkk., 2022). Data DEMNAS dapat diakses melalui situs web INAGEOPORTAL (tanahair.indonesia.go.id).

4) Peta batas DAS Ujung Loe

Peta Batas DAS merupakan peta yang menampilkan suatu daerah DAS yang digunakan sebagai batas kajian dalam penelitian. Adapun sumber dari peta ini didapatkan dari Batas DAS sesuai SK.304/MENLHK/PDAS/DAS.0/7/2018 tentang penetapan peta daerah aliran sungai

5) Peta Rupa Bumi Indonesia.

Peta Rupa Bumi Indonesia adalah salah satu jenis peta dasar yang diproduksi dan dikembangkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG), yang merupakan bagian dari Informasi Geospasial Dasar (IGD). Berdasarkan Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2011, IGD mencakup informasi geospasial yang menggambarkan objek-objek yang dapat diamati langsung atau diukur dari tampilan fisik di permukaan bumi dan bersifat relatif tetap dalam jangka waktu yang panjang (Nukita dkk., 2017). Data ini digunakan, antara lain, untuk pembuatan peta batas administrasi pada DAS Ujung Loe. Peta tersebut dapat diakses melalui INAGEOPORTAL (tanahair.indonesia.go.id).

6) Data Spasial Curah Hujan Tahun 2019-2022

Data Spasial Curah Hujan Tahun 2019-2022 merupakan data yang memuat jumlah harian curah hujan dalam rentan satu tahun. Data spasial ini digunakan sebagai data

pembangun untuk menentukan jumlah curah hujan dalam rentan 5 tahun di setiap stasiun yang ada dalam lokasi penelitian. Data ini didapatkan di website Data Portal CHRS (*Center for Hydrometeorology and Remote Sensing*) <https://chrdata.eng.uci.edu>

7) Peta Jenis Tanah RePPPProT

Peta Jenis Tanah RePPPProT adalah peta yang menggambarkan variasi dan distribusi jenis tanah di suatu wilayah, beserta sifat-sifat tanah seperti tekstur, pH, kadar organik, dan kedalamannya. Peta ini berasal dari Land System Soil RePPPProT (*Regional Physical Planning Program for Transmigration*) Tahun 1984.

8) Peta Geologi

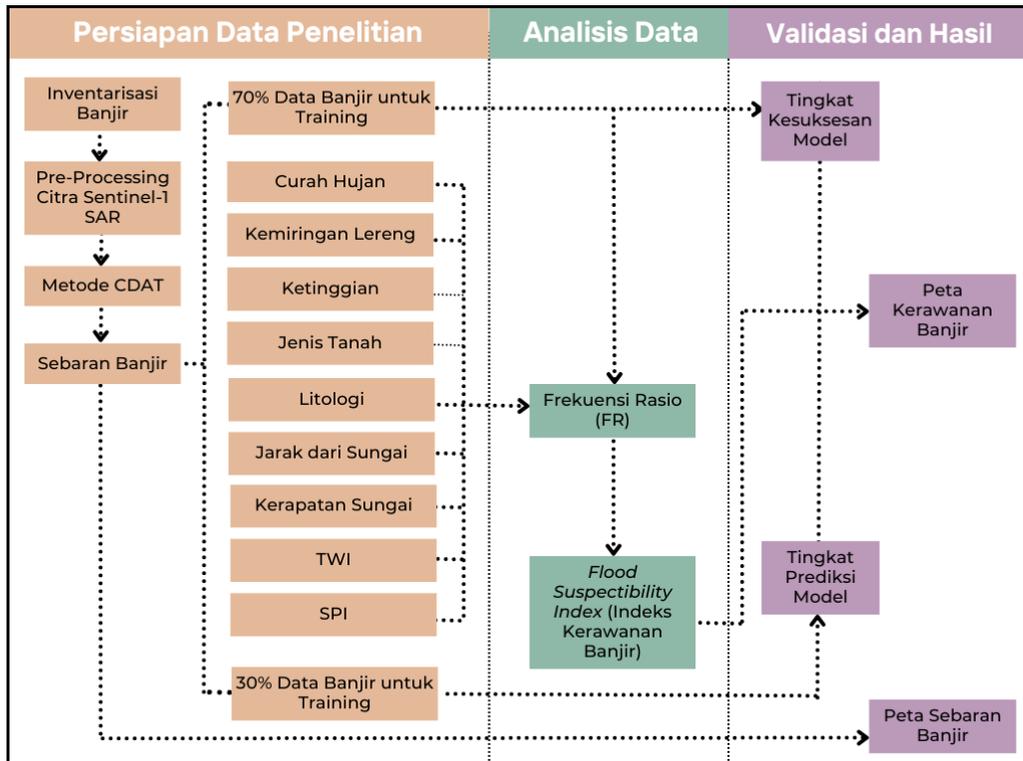
Peta Geologi merupakan peta yang berisi informasi mengenai keadaan geologi suatu wilayah, seperti: sebaran dan jenis batuan, struktur geologi, hubungan antar batuan, umur batuan, sumber daya mineral. Peta ini didapatkan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Indonesia Tahun 2016.

9) Data *Permanent Water*

Data *Permanent water* merupakan peta yang memuat area badan air yang keberadaanya bersifat permanen sepanjang waktu. Data ini digunakan sebagai data pembangun penelitian dalam proses *masking* banjir. Data ini bersumber JRC *Global Surface Water Mapping* v1.3.

2.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini memiliki berbagai tahap yaitu meliputi persiapan data, analisis data, validasi, dan hasil penelitian. Bagan alur penelitian dapat dilihat Gambar 2.



Gambar 2. Prosedur penelitian

2.3.1 Persiapan Data Penelitian

Persiapan data penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data-data nantinya akan menjadi penunjang dalam penelitian. Data yang dibutuhkan untuk mengidentifikasi banjir berupa citra *Sentinel-1* SAR, untuk inventarisasi sebaran banjir. Data untuk analisis kerawanan banjir berupa data yang menginformasikan kondisi fisik wilayah serta faktor penyebab banjir seperti peta batas DAS, peta Rupa Bumi Indonesia (RBI), peta curah hujan, peta kemiringan lereng, peta ketinggian, peta jenis tanah, peta litologi, peta jarak dari sungai, peta kerapatan sungai, peta Topographic Wetness Index (TWI) dan peta Stream Power Index (SPI). Pengumpulan data dilakukan dengan survei lapangan, analisis, serta perhitungan yang dilakukan di *software Microsoft Office*, SPSS dan ArcGIS.

2.3.2 Analisis Inventarisasi Kejadian Banjir

Dalam menganalisis terjadinya suatu banjir, inventarisasi peristiwa banjir perlu dilakukan untuk memperkirakan kerawanan banjir di wilayah penelitian. Menurut Manandhar (2010), untuk menganalisis terjadinya banjir dibutuhkan informasi peristiwa banjir sebelumnya untuk memperkirakan banjir di masa depan. Analisis inventarisasi banjir

dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan citra *Sentinel-1* SAR yang diperoleh dari ESA (*European Space Agency*). Data citra yang digunakan yaitu citra *Sentinel-1* SAR pada tahun 2019 hingga 2023.

1. Proses Pengolahan Citra *Sentinel-1* SAR

Pengolahan data dalam penelitian ini menjelaskan tahapan-tahapan yang dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai sebaran banjir. Proses pengolahan ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak (*Software*) SNAP.

a. Pengolahan Citra *Sentinel-1*SAR

Proses pengolahan data citra yang dilakukan pada penelitian ini untuk menghasilkan informasi sebaran banjir dilakukan pada perangkat lunak (*software*) SNAP dengan tahapan sebagai berikut:

1) *Subset*

Tahap *subset* merupakan tahap awal dari pemrosesan citra, dimana dilakukan pemotongan citra yang menghasilkan citra dengan pengurangan jumlah data yang signifikan namun dengan struktur dan karakteristik yang tetap dipertahankan. Proses *subset* atau pemotongan citra ini dilakukan dengan tujuan untuk membatasi cakupan wilayah penelitian agar proses pengolahan akan lebih cepat (Fajrin dkk., 2019).

2) *Apply Orbit File*

Tahap *Apply Orbit File* merupakan tahapan dimana orbit metadata pada citra Sentinel - 1 dilakukan pembaharuan (Sumiati, dkk., 2023). Tahapan ini berfungsi dengan menerapkan file orbit yang sesuai. Tahap tersebut memungkinkan dilakukan pengunduhan otomatis dan pembaruan vektor status orbit dalam metadata produk untuk setiap citra SAR, sekaligus menyediakan informasi posisi dan kecepatan satelit dengan akurasi tinggi (Filipponi, 2019). Vektor status orbit yang terdapat dalam metadata produk *Sentinel-1* sering kali kurang akurat, sehingga pada tahap ini dilakukan peningkatan dengan menggunakan file orbit yang lebih presisi. File orbit ini juga menyajikan informasi yang lebih akurat tentang posisi dan kecepatan satelit (*Copernicus Research and User Support*, 2015).

3) *Thermal Noise Removal* (TNR)

Tahap *Thermal Noise Removal* merupakan tahapan koreksi radiometrik yang merupakan tahapan dalam memperbaiki citra yang mengalami kesalahan seperti adanya pergeseran pada nilai (piksel) (Purwadhi dan Sanjoto, 2008). TNR berfungsi untuk mengeliminasi efek *noise* atau gangguan pada tekstur antar subpetak. Agar supaya mampu menormalkan sinyal dari hamburan balik dalam semua *scene Sentinel-1* (Sumiati, dkk., 2023). Pada tools *Thermal noise removal* polarisasi VV dipilih untuk diproses. Hal ini dikarenakan polarisasi VV sensitif terhadap permukaan halus seperti air tenang, sehingga area yang tergenang air akan teridentifikasi citra ini. Perbandingan citra sebelum dan sesudah banjir menunjukkan perubahan signifikan pada area yang tergenang, terutama pada citra polarisasi VV (Ruuhulhaq, 2024). Sejalan dengan penelitian Aldiansyah dan kawan-kawan (2024) mengatakan bahwa polarisasi VV efektif digunakan dalam mengidentifikasi sebaran banjir.

4) *Calibrate Radiometric*

Tahapan kalibrasi radiometrik dilakukan untuk menghasilkan citra satelit SAR yang

telah dikoreksi, sehingga dapat merepresentasikan hamburan balik radar dalam membentuk nilai dari pantulan objek. Tujuan dari kalibrasi yaitu menyediakan citra di mana nilai-nilai pixel dapat langsung berhubungan dengan nilai radar backscatter (Copernicus Research and User Support, 2015). Vektor kalibrasi disertakan sebagai anotasi dalam produk untuk memungkinkan konversi sederhana dari nilai intensitas citra menjadi nilai *sigma-nought*, *gamma-nought* atau *beta-nought*. (Fernandes & Soni, 2018). Pada tahap ini *sigma-nought* dipilih sebagai output, yang nantinya akan digunakan pada tahapan selanjutnya yang berperan dalam memisahkan permukaan tanah (non badan air) dengan badan air (Sumiati dkk., 2023).

5) *Speckle Filtering*

Informasi data SAR yang telah melalui proses kalibrasi sering kali masih mengandung gangguan berupa speckle, yang biasanya dianggap sebagai noise. Gangguan ini biasanya muncul dalam bentuk bercak hitam-putih, yang disebabkan oleh interferensi gelombang yang dipantulkan dari banyaknya elemen yang tersebar (Alawiyah & Harintaka, 2021). Proses pengurangan noise ini dilakukan dengan mengubah tampilan dari permukaan citra, tetapi informasi terkait lokasi dan bentuk objek dalam citra tetap dipertahankan (Ruuhulhaq, 2024). Pada tahapan ini pemilihan *refind lee* dilakukan untuk mempertahankan tepian, fitur linear, dan informasi titik pada citra (Filipponi, 2019).

6) *Terrain Correction*

Citra *Sentinel-1* masih berada dalam geometri radar, yang dapat menyebabkan distorsi pada jarak citra akibat variasi topografi area dan sudut kemiringan sensor satelit. Oleh karena itu, koreksi geometrik perlu dilakukan. *Terrain Correction* menggunakan Digital Elevation Model (DEM) dan file orbit untuk memperbaiki kesalahan-kesalahan pada citra *Sentinel-1* SAR, seperti efek rebah ke dalam (layover), efek pendekatan lereng depan (foreshortening), dan efek bayangan (shadow), dengan tujuan mengurangi kesalahan tersebut dan memastikan representasi geometrik sesuai dengan koordinat lapangan (Braun & Veci, 2021). Dalam penelitian ini, koneksi internet dibutuhkan untuk mengunduh data model elevasi guna melakukan tahapan koreksi geometrik (Utomo dkk., 2020).

7) *Coregistration*

Tahap *coregistration* merupakan tahap yang dilakukan untuk menggabungkan dua citra sebelum banjir dan setelah banjir menjadi 1 file. Pada tahapan ini *backscatter sigma naught* polarisasi VV dari dua data citra ditentukan menjadi data master dan data slaves. Data yang menjadi master adalah data citra sebelum banjir dan data slaves adalah data setelah atau saat banjir.

8) *Convert to db*

Pada tahap *convert bands*, nilai *sigma naught* (s°) diubah menjadi satuan desibel (dB), yang merupakan koefisien nilai hamburan balik (backscatter). Karena setiap gambar mengandung informasi berupa nilai piksel atau spectral dari hamburan balik, gambar sebelum dan sesudah di filter dan dikonversi ke nilai digital berbeda. Tujuan dari prosedur ini adalah untuk menormalisasi hamburan balik pada area yang ditunjukkan dalam koefisien *sigma nought* (s°) dalam satuan desibel (db) untuk membuat gambar lebih mudah dipahami (Yani dkk., 2022).

2. Identifikasi Sebaran Banjir

Identifikasi sebaran banjir didapatkan setelah pengolahan citra *Sentinel-1* SAR yang selanjutnya digunakan rumus *Change Detection dan Thresholding* (CDAT).

1) *Change Detection and Thresholding* (CDAT)

Metode *change detection* dapat diartikan sebagai metode deteksi perubahan yang membandingkan dua set citra untuk menentukan perubahan yang ada (Longbotham et al., 2012). Tujuan metode deteksi perubahan ini adalah untuk menghapus atau mengeliminasi piksel yang tidak sesuai dengan banjir dari peta banjir. Koefisien *backscatter sigma nought* σ° piksel yang telah diubah menjadi *decibel* (dB) (Sumiati et al., 2023). Selanjutnya, data citra akan diproses untuk mengidentifikasi perubahan untuk membandingkan kondisi sebelum banjir dengan kondisi saat atau setelah banjir. Ini dilakukan dengan membandingkan nilai piksel secara langsung antara citra sebelum dan saat atau sesudah banjir. Untuk mendeteksi perubahan, berikut rumus yang digunakan (Vanama, dkk., 2021).

$$RI = \frac{\sigma^\circ vv (\text{flood})}{\sigma^\circ vv (\text{preflood})} \quad (1)$$

Keterangan:

$\sigma^\circ vv (\text{flood})$ = Koefisien hamburan balik citra saat terjadi banjir dari polarisasi VV

$\sigma^\circ vv (\text{pre-flood})$ = Koefisien hamburan balik citra sebelum terjadi banjir dari polarisasi VV

2) *Apply Threshold*

Proses ini dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi daerah banjir. Nilai ambang batas yang digunakan pada *script code* adalah 1,10. Nilai ambang batas ini merujuk pada *United Nations Platform for Spacebased Information for Disaster Management and Emergency Response* (UN-SPIDER) (Ambarini, dkk., 2024). Adapun *script* atau *expression* yang digunakan untuk mengidentifikasi banjir dengan bantuan nilai *threshold* yaitu :

$$(RI > 1.10)*255 \quad (2)$$

Keterangan:

RI = nilai ratio image

1.10 = nilai ketentuan *threshold*

255 = nilai ketentuan yang mewakili area yang terdeteksi banjir

Hasil dari *apply threshold* ini kemudian di export dari *software* SNAP yang kemudian akan diolah untuk mendapatkan sebaran banjir di *software* ArcGIS.

3) Pembuatan Peta Sebaran Banjir

Terdapat output dari proses identifikasi sebaran banjir citra *Sentinel-1* yang dilakukan yakni sebaran spasial area banjir yang telah diolah di *software* SNAP. Data dari *software* SNAP tersebut selanjutnya diolah di *software* Arcgis untuk mendapatkan data sebaran banjir yaitu proses vektorisasi dan masking banjir. Proses masking

banjir digunakan untuk memisahkan area genangan banjir yang tidak memenuhi kriteria yang telah ditetapkan. Kriteria masking genangan banjir menurut Ambarini, dkk., 2022, yaitu :

- a) *Exclude Area with 8% Slope*
Tahap ini digunakan untuk menghilangkan piksel dengan slope lebih dari 8%. Tahap ini dilakukan dengan menggunakan DEM dan kemudian diolah untuk menentukan tingkat kemiringan lereng atau slope, sehingga menghasilkan data kemiringan lereng.
- b) *Exclude Permanent Water*
Tahap ini data sebaran banjir dilakukan dengan memisahkan terhadap objek *permanent water*. Data *permanent water* diperoleh dari JRC *Global Surface Water Mapping* v1.3. Sehingga dapat diketahui area yang merupakan genangan banjir pada lokasi penelitian.
- c) *Minimum Area 2 Hectares*
Tahap ini ini untuk mengeliminasi piksel yang memiliki luasan area di bawah 2 (dua) hektar dengan menggunakan tools eliminate pada *software ArcGIS*. Dengan adanya proses ini diharapkan noise dapat berkurang dari visualisasi sebaran banjir (Utomo, 2016). Sehingga menghasilkan daerah sebaran banjir yang sesuai dengan kriteria.

Kemudian melakukan *overlay* sehingga menghasilkan data sebaran banjir. Data tersebut kemudian divalidasi. Validasi lapangan dilakukan dengan mengambil titik koordinat hasil identifikasi sebaran banjir serta melakukan pertanyaan langsung terhadap penduduk di daerahnya sering terkena dampak banjir. Hasil dari validasi lapangan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam uji akurasi. Uji akurasi merupakan perbandingan antara data hasil interpretasi citra dengan kondisi lapangan. Perhitungan uji akurasi klasifikasi citra dilakukan dengan menggunakan tabel *confusion matrix*, seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. *Confusion matrix* untuk menguji keakuratan (Jaya, 2007).

		Data acuan		Total baris	<i>User's accuracy</i>
		A	B		
Data interpretasi citra	A'	X _{ii}		X _{i+}	X _{ii} /X _{i+}
	B'		X _{ii}		
	C'				
Total kolom		X _{+i}		N	
<i>Producer's Accuracy</i>		X _{ii} /X _{+i}			Σ X _{ii}

Keterangan:

A',B',C' = Data interpretasi

A,B,C = Data Acuan prestasi citra

X_{ii} = Data yang diuji

- X+l = Jumlah masing-masing data acuan
- Xi+ = masing-masing data klasifikasi citra
- N = Total Jumlah data yang diuji

Pengujian ketelitian klasifikasi bertujuan untuk melihat kesalahan-kesalahan klasifikasi sehingga diketahui persentase ketepatannya. Tingkat keakuratan interpretasi citra dapat diterima jika memperoleh nilai 85% (Lillesand & Kiefer, 1997 dalam Arsyad dkk., 2017). Perhitungan akurasi suatu klasifikasi dapat dihitung menggunakan *kappa accuracy* dengan persamaan sebagai berikut:

$$KA = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N^2 \sum x_{i+} x_{+i}} \times 100 \quad (3)$$

Keterangan:

- X_{ii} = Nilai diagonal dari matrix kontingensi baris ke-i dan kolom ke-i
- X+l = Jumlah piksel dalam kolom ke-i
- X_{i+} = Jumlah piksel dalam baris ke-i
- N = Banyaknya piksel dalam contoh
- r = Nomor baris di dalam matrix

Validasi ini dilakukan untuk mengetahui kesesuaian antara kondisi daerah sebenarnya dengan hasil olah data *Sentinel-1* mengenai sebaran banjir yang telah dilakukan. Hasil dari validasi tersebut menghasilkan peta sebaran banjir, untuk analisis lebih lanjut peta tersebut dilakukan *overlay* dengan peta RBI Indonesia untuk mengetahui daerah mana saja yang terdampak dan luasan sebaran banjir dari wilayah penelitian.

2.3.3 Analisis Faktor Penyebab Banjir

Hal penting yang perlu diperhatikan dalam memetakan kerawanan banjir adalah memilih faktor penyebab yang efektif terjadinya banjir di setiap daerah tangkapan. Peristiwa ini menjadi sebuah tantangan yang rumit dalam memilih faktor untuk membuat suatu peta kerawanan banjir. Dalam penelitian ini menggunakan sepuluh (sepuluh) faktor yang digunakan dalam menganalisis faktor yang memiliki pengaruh paling tinggi terjadinya banjir di suatu DAS yaitu: (1) curah hujan; (2) kemiringan lereng; (3) ketinggian; (4) jenis tanah; (5) litologi; (6) jarak dari sungai; (7) kerapatan sungai; (8) Topographic Wetness Index; (9) Stream Power Index dan (10) penutupan lahan.

1) Curah Hujan

Data spasial curah hujan diperoleh dari hasil olah perhitungan curah hujan rata-rata dari tahun 2019 hingga tahun 2023 dengan menggunakan aplikasi *Microsoft excel*. Data yang diolah didapatkan melalui satelit yang berasal dari website <https://chrsdata.eng.uci.edu>, dengan bantuan titik stasiun CSAIRO Kemudian, data tersebut diolah menggunakan *software* ArcGIS dengan metode isohyet. Data curah hujan digunakan dari bulan januari tahun 2019 hingga bulan desember 2023. Data curah hujan ini juga digunakan dalam penentuan pemilihan tanggal citra sebelum banjir dengan melihat bulan kering di setiap tahunnya.

2) Kemiringan lereng

Data kemiringan lereng diperoleh dari hasil analisis DEMNAS yang dilakukan pada *software* ArcGIS menggunakan *tools slope* yang satuannya berupa persen (%). Hasil dari analisis tersebut di *reclassify* sehingga memperoleh 5 (lima) kelas faktor kemiringan lereng, yaitu 0-8% (datar), 8-15% (landai), 15-25% (agak curam), 25-45% (curam) dan >45% (sangat curam) (Soma dkk., 2023).

3) Ketinggian

Data Ketinggian (elevasi) juga diperoleh dari hasil analisis DEMNAS, analisis kemiringan lereng diolah langsung dengan menggunakan *tools reclassify*, dengan membagi menjadi 5 (lima) kelas ketinggian, yaitu 0-500 mdpl, 500-1000 mdpl, 1000-1500 mdpl, 1500-2000 dan 2000 mdpl.

4) Jenis Tanah

Data jenis tanah diperoleh dari hasil ekstraksi data tanah RePPPProT. Peta jenis tanah dianalisis dengan menggunakan *tools overlay* pada *software* ArcGIS. Peta tanah RePPPProT di *overlay* dengan batas DAS Ujung Loe sehingga menghasilkan Peta jenis tanah yang sesuai dengan batas DAS.

5) Litologi

Data Litologi diperoleh dari hasil ekstraksi dari peta geologi yang dikeluarkan oleh Pusat Penelitian Geologi Indonesia. Peta tersebut kemudian di *overlay* dengan batas DAS, sehingga menghasilkan peta litologi yang sesuai dengan batas lokasi penelitian.

6) Jarak Dari Sungai

Data jarak dari sungai, diperoleh dari data DEMNAS yang selanjutnya diolah di *software* ArcGIS dengan menggunakan *tools hydrology* yang akan menghasilkan aliran sungai. Kemudian, hasil tersebut diolah dengan menggunakan *tools Euclidean Distance* untuk menghasilkan jarak dari aliran sungai dengan satuan m (meter) yang selanjutnya diklasifikasi menjadi enam kelas menggunakan *tools reclassify* sehingga membentuk kelas faktor jarak dari sungai yaitu 0-20 m, 20-40 m, 40-60 m, 60-80 m, 80-100 m dan >100 m (Soma dkk., 2023).

7) Kerapatan Sungai

Data Kerapatan Sungai juga diperoleh dari hasil analisis DEMNAS, sama dengan faktor jarak dari sungai, dasar data yang digunakan pada faktor ini yaitu hasil analisis dengan menggunakan *tools hydrology*, sehingga memperoleh jaring-jaring sungai. Selanjutnya, diolah dengan menggunakan *tools line density* untuk mendapatkan nilai kerapatan sungai. Hasil dari analisis tersebut kemudian diklasifikasi menjadi 5 kelas faktor, yaitu sangat jarang, jarang, sedang, rapat, dan sangat rapat (Naharuddin dkk., 2018).

8) Topographic Wetness Index (TWI)

Data TWI diperoleh dari hasil analisis DEMNAS, dimana data tersebut dianalisis menggunakan *tools slope* sehingga menghasilkan kemiringan lereng dalam satuan derajat. Selain data DEMNAS, juga digunakan data hasil analisis jaringan sungai yang diolah dengan *tools hydrology* menghasilkan *flow accumulation*. Kedua data ini kemudian dianalisis menggunakan *raster calculator* sehingga menghasilkan nilai TWI. Hasil dari nilai tersebut kemudian diklasifikasikan menjadi 5 (lima) kelas yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi (Soma dkk., 2023).

9) Stream Power Index (SPI)

Data SPI didapatkan berdasarkan analisis dari 2 data. Dua data tersebut yaitu

kemiringan lereng dalam satuan derajat dan data *flow accumulation* dari jaringan sungai. Kemudian dua data tersebut dianalisis menggunakan *tools raster calculator*. Hasil analisis tersebut kemudian diklasifikasikan dengan *tools reclassify* menjadi lima kelas yaitu sangat lemah, lemah, sedang, kuat dan sangat kuat (Soma dkk., 2023).

10) Penutupan Lahan

Data penutupan lahan dalam penelitian ini diperoleh dari citra *Sentinel-2* dengan resolusi 10 m untuk dilakukan digitasi dan klasifikasi penutupan lahan dengan melihat pedoman atau acuan yang tercantum di dalam Juknis 1/PSDH/PLA.1/7/2020 Tentang Petunjuk Teknis Penafsiran Citra Satelit Resolusi Sedang Untuk Update Data Penutupan Lahan Nasional. Untuk memastikan sesuai tidaknya hasil interpretasi citra yang telah dilakukan sebelumnya dengan kondisi lapangan maka dilakukan validasi lapangan (*ground check*). Hasil dari *ground check* kemudian di uji akurasi data hasil interpretasi citra. Uji akurasi citra ini dilakukan sama halnya dengan yang dilakukan pada citra sebelumnya pada dalam metode identifikasi sebaran banjir

2.3.4 Frekuensi Rasio

Analisis yang digunakan dalam menentukan faktor berpengaruh pada sebaran banjir yaitu metode *Frekuensi rasio* yang merupakan salah satu teknik analisis bivariat utama atau analisis statistik untuk mengevaluasi hubungan antara dua atau lebih variabel, yang digunakan dalam analisis kerentanan banjir. Hubungan spasial antara variabel dependen dan independen menjadi dasar dari frekuensi rasio sebagai bagian dari studi statistik bivariat. Hubungan ini dianalisis berdasarkan titik-titik pemantauan yang dipilih untuk menentukan penyebab banjir, termasuk faktor klimatologi, topografi, dan lokal, yang dianggap sebagai faktor independen (Waqas dkk., 2021). Frekuensi rasio banjir ditentukan dengan memeriksa hubungan antara kejadian banjir dan faktor-faktor penyebabnya. Sebagai hasilnya, frekuensi rasio untuk setiap kelas dari faktor pengkondisian ditentukan berdasarkan kejadian banjir yang telah terjadi sebelumnya (Munir dkk., 2022). Hal ini dapat dinyatakan berdasarkan persamaan (Soma dan Kubota, 2017):

$$FR = \frac{P_{xcL} / \sum P_{xcL}}{P_{nXL} / \sum P_{nXL}} \quad (4)$$

Keterangan:

FR	= frekuensi rasio
P_{xcL}	= jumlah piksel banjir untuk setiap kelas faktor
$\sum P_{xcL}$	= total piksel banjir di daerah penelitian
P_{nXL}	= jumlah piksel dalam area kelas faktor
$\sum P_{nXL}$	= total piksel di daerah penelitian.

2.3.4 Indeks Kerawanan Banjir

Indeks kerawanan banjir atau FSI (*Flood Susceptibility Index*) dapat dihitung dengan penjumlahan nilai piksel yang sama dari faktor penyebab banjir menggunakan *software* ArcGIS. Nilai indeks kerawanan banjir dihitung menurut persamaan (Soma dkk., 2023):

$$FSI = FR_1 + FR_2 + \dots + FR_n \quad (5)$$

Keterangan:

FSI = indeks kerawanan banjir

FR = nilai FR dari kelas faktor penyebab banjir

2.3.5 Validasi Data

Validasi analisis kerawanan banjir, divalidasikan dengan menggunakan data dari peta sebaran banjir yang telah validasi. Kemudian data tersebut dilakukan pembagian 70% data *training* untuk kesuksesan model dan 30% data validasi untuk tingkat prediksi model. Validasi ini bertujuan untuk mengukur sejauh mana metode FR dapat memprediksi banjir dengan baik. Hasil validasi menunjukkan nilai akurasi prediksi berdasarkan AUC (Area Under Curve) melalui analisis ROC (Receiver Operating Characteristic), yang dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS. SPSS dipilih karena banyak digunakan untuk perhitungan statistik dan dilengkapi dengan alat analisis ROC. Analisis ROC adalah metode untuk menggambarkan, mengorganisasi, dan mengklasifikasikan beberapa kategori dalam suatu model statistik berdasarkan kinerjanya. Tingkat keberhasilan kurva AUC diperoleh dari data pelatihan dan data prediksi yang dihitung melalui validasi data ROC (Soma & Kubota, 2017). Hasil validasi model diklasifikasikan menjadi lima kategori yaitu, 0,5-0,6 (sangat buruk), 0,6-0,7 (buruk), 0,7-0,8 (sedang) 0,8-0,9 (baik), dan 0,9-1,0 (sangat baik).

2.3.6 Analisis Peta Kerawanan Banjir

Peta kerawanan banjir dihasilkan dengan menganalisis sepuluh faktor yang menjadi penyebab kerawanan banjir di DAS Ujung Loe dengan menggunakan metode Frekuensi Rasio (FR). Hasil pengolahan menggunakan metode FR menghasilkan nilai indeks banjir atau *Flood Susceptibility Index*. Nilai tersebut diklasifikasikan menggunakan metode *natural break (jenks)*. Klasifikasi metode ini membagi kelas berdasarkan nilai, kelas dikelompokkan berdasarkan kemiripan nilai dan memaksimalkan perbedaan antar kelas. Batas kelas ditetapkan dimana terdapat perbedaan nilai data yang relatif besar. Metode Natural Breaks mengelompokkan data ke dalam kelompok yang meminimalkan varian dalam kelompok dan memaksimalkan varian antar kelompok (ESRI, 2023). Setelah nilai indeks banjir diklasifikasikan menjadi 5 (lima) kelas menggunakan metode tersebut, kemudian lima kelas tersebut diklasifikasikan menjadi lima tingkat kerawanan banjir, yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Kelas-kelas tersebut selanjutnya digunakan dalam peta tingkat kerawanan banjir.