

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara geografis Indonesia adalah negara kepulauan yang terletak pada empat lempeng tektonik yaitu lempeng Benua Asia, Benua Australia, lempeng Samudra Hindia, dan lempeng Samudra Pasifik. Kondisi tersebut sangat berpotensi sekaligus rawan terhadap bencana seperti gempa bumi, letusan gunung api, tsunami, banjir, dan tanah longsor. Berdasarkan data yang dihimpun oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) sepanjang tahun 2023 tercatat telah terjadi 5.400 kejadian bencana yang tersebar di seluruh wilayah di Indonesia. Jumlah tersebut naik dibandingkan dengan tahun sebelumnya, yang didominasi bencana seperti tanah longsor, banjir, dan cuaca ekstrem. Pada tahun 2023 telah tercatat 951 kejadian tanah longsor di Indonesia yang mengakibatkan 144 korban jiwa dan hilang. (BNPB, 2023).

Tanah longsor adalah salah satu bencana yang paling sering terjadi di daerah perbukitan dan pegunungan dengan intensitas curah hujan yang tinggi. Lereng yang curam dan struktur geologi merupakan faktor lain yang menyebabkan tanah longsor (Wahyuni et al., 2019). Di Provinsi Sulawesi Selatan, sejak tahun 2021 sampai tahun 2023 telah tercatat 312 kejadian tanah longsor yang memberikan dampak kerugian besar bagi masyarakat (BPBD, 2023).

Kerawanan tanah longsor disebabkan oleh adanya air tanah di atas lapisan kedap air, bidang luncur (kedap air) dibawah permukaan tanah, dan lereng yang curam. Kerawanan longsor dipengaruhi oleh dua faktor utama yaitu faktor alami dan faktor manajemen. Faktor alami mencakup curah hujan, kemiringan lahan, kondisi geologi atau litologi, keberadaan sesar atau patahan, dan jenis tanah. Sementara itu, faktor manajemen meliputi penggunaan lahan, keberadaan infrastruktur dan tingkat kepadatan permukiman (Chen, 2021).

Daerah Aliran Sungai (DAS) Ujung Loe memiliki luasan sebesar 20.473,62 ha, secara administrasi terletak di Kabupaten Bulukumba (Kecamatan Ujung Loe, Rilau Ale, Kindang dan Bulukumba) dan Kabupaten Sinjai (Kecamatan Sinjai Barat dan Sinjai Borong). Menurut Kuswanto et al. (2018), salah satu penyebab utama terjadinya tanah longsor di DAS Ujung Loe lebih disebabkan oleh pemotongan lereng seperti untuk tujuan pembangunan infrastruktur berupa jalan menuju ke permukiman. Selain itu, dalam beberapa tahun terakhir kondisi sumber daya hutan, tanah, dan air di DAS Ujung Loe mengalami penurunan baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Hal ini berdampak pada pemanfaatan lahan yang kurang tepat dan berlebihan sehingga berpotensi memicu bencana seperti banjir, erosi, tanah longsor dan kekeringan (Nurdin, 2022). Hal ini sejalan dengan Soma dan Kubota (2017), bahwa di hulu DAS Ujung Loe perubahan penggunaan lahan salah satu faktor penyebab terjadinya tanah longsor dipicu oleh intensitas curah hujan dengan *topografi* sangat curam dan bergunung-gunung. Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Bulukumba melaporkan telah terjadi tanah longsor pada tanggal 18 maret 2021 jalan akses perbatasan Desa Kahayya dan Desa Kindang tertutup longsor sehingga tidak bisa dilalui oleh warga. Dari hasil penelitian Nurdin (2022) juga telah menginventarisasi beberapa titik longsor dan bekas longsor

yang dipicu oleh faktor alam maupun faktor yang disebabkan oleh manusia yang ada di DAS Ujung Loe.

Terjadinya peristiwa tanah longsor mengakibatkan banyak kerugian, terutama jika tanah longsor terjadi secara tiba-tiba sehingga perlu adanya identifikasi dan analisis kerawanan tanah longsor di DAS Ujung Loe. Penelitian ini memanfaatkan metode *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) untuk mengidentifikasi kejadian tanah longsor, meskipun terdapat berbagai metode lain yang dapat digunakan untuk memperoleh data identifikasi tanah longsor. DInSAR merupakan metode untuk mengamati pergerakan tanah menggunakan beberapa pasang *interferogram* secara bersamaan dalam mendeteksi perubahan topografi permukaan dengan akurasi yang sangat tinggi (Arham et al., 2024). Selain dapat digunakan untuk pembuatan informasi ketinggian dapat juga digunakan untuk pembuatan peta deformasi serta identifikasi tanah longsor (Kang dan Zhao, 2017). Untuk mengetahui tingkat kerawanan dan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap tanah longsor di DAS Ujung Loe menggunakan metode Frekuensi Rasio (FR) yang menghitung nilai perbandingan antara kejadian longsor dan area secara keseluruhan berdasarkan faktor (Wang, et al., 2020). Oleh karena itu, penelitian ini perlu dilakukan sebagai dasar informasi bagi masyarakat dalam mitigasi terjadinya tanah longsor di DAS Ujung Loe.

1.2 Tujuan dan Kegunaan

Adapun tujuan dari penelitian diantaranya sebagai berikut :

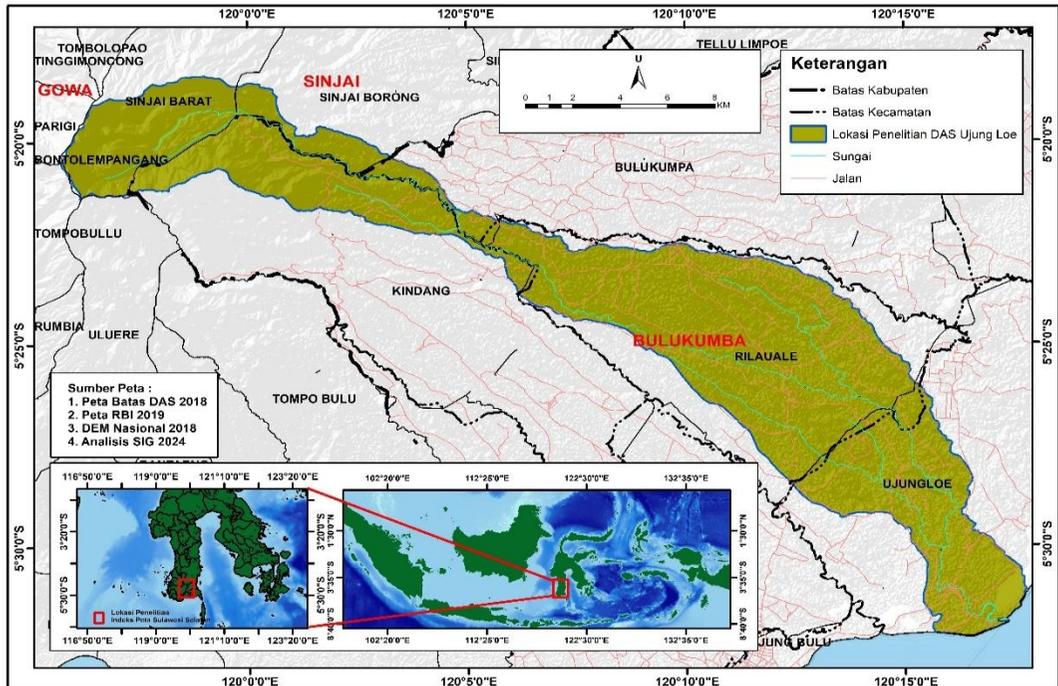
1. Mengidentifikasi sebaran tanah longsor pada tahun 2021-2023 di Daerah Aliran Sungai Ujung Loe dengan menggunakan metode *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR).
2. Menganalisis faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap potensi terjadinya tanah longsor di DAS Ujung Loe berdasarkan analisis menggunakan metode Frekuensi Rasio (FR).
3. Membuat peta tingkat kerawanan tanah longsor di DAS Ujung Loe.

Adapun kegunaan dari penelitian ini adalah untuk memberikan data informasi bagi masyarakat dan instansi setempat mengenai tingkat kerawanan tanah longsor dengan melihat faktor penyebabnya serta sebagai acuan dalam mitigasi tanah longsor di DAS Ujung Loe.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2023 - Januari 2025. Lokasi penelitian terletak di DAS Ujung Loe yang secara administratif terletak pada Kabupaten Sinjai dan Kabupaten Bulukumba. Pengolahan data dilakukan di Laboratorium Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

2.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian

No.	Alat	Kegunaan
1	Laptop atau Komputer	Sebagai <i>hardware</i> atau alat menjalankan program/aplikasi
2	Software ArcGis versi 10.4 (ArcMAP)	Sebagai <i>software</i> atau alat untuk memproses output dan visualisasi data
3	Software Ms. Office	Sebagai <i>software</i> atau alat untuk memperoleh angka atau kata
4	Software SNAP versi 11 (Sentinel Application Platform)	Sebagai <i>software</i> atau alat untuk mengolah citra Sentinel-1 SAR (Synthetic Aperture Radar)

Lanjutan Tabel 1. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian

No.	Alat	Kegunaan
5	<i>Software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)</i>	Validasi tingkat kerawanan longsor
6	<i>Software Google Earth Pro</i>	Sebagai <i>software</i> atau alat untuk visualisasi longsor
7	Kamera	Sebagai alat untuk mendokumentasikan kegiatan penelitian
8	<i>Receiver GPS (Global Position System)</i>	Untuk mengambil titik koordinat pada lokasi penelitian
9	Alat Tulis Menulis	Untuk mencatat hasil pengamatan

Adapun bahan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian

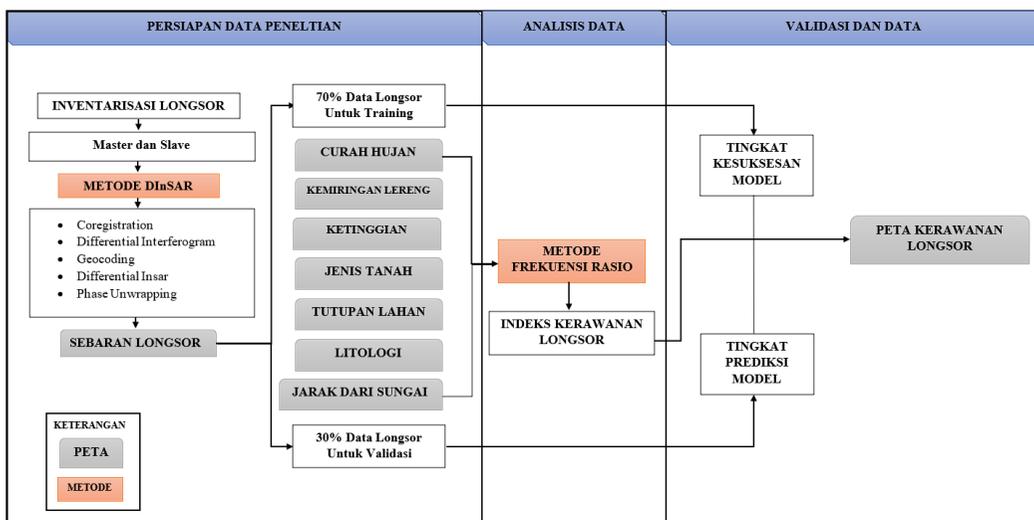
No.	Bahan	Kegunaan	Sumber
1.	Citra <i>Sentinel-1 SAR</i> dalam format <i>Single Look Complex</i> (SLC dari rentang tahun 2021-2023, Sebelum longsor (09 januari 2021, 28 januari 2022, dan 23 januari 2023). Kejadian longsor (11 desember 2021, 18 desember 2022, dan 25 desember 2023)	Sebagai bahan untuk analisis deformasi permukaan yang disebabkan oleh longsor	<i>Website Alaska Satellite Facility (ASF)</i> https://search.asf.alaska.edu/
2.	Citra <i>Sentinel-2</i>	Sebagai bahan untuk analisis tutupan lahan tahun 2023	<i>Website ESA (European Space Agency)</i> http://scihub.copernicus.eu/
3.	Data curah hujan (5 tahun terakhir) 2019 – 2023	Data faktor curah hujan	<i>Website</i> chrdata.eng.uci.edu
4.	Peta Rupa Bumi Indonesia(RBI)	Sebagai bahan untuk memberikan informasi secara khusus terkait lokasi penelitian	Badan Informasi Geospasial

Lanjutan Tabel 2. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian

No.	Bahan	Kegunaan	Sumber
5.	Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) Resolusi Horizontal 8 meter	Sebagai bahan untuk analisis data faktor kemiringan lereng, ketinggian, dan jarak dari sungai.	INAGEOPORTAL: tanahair.indonesia.go.id
6.	Peta batas DAS tahun 2018	untuk peta batas dasar lokasi penelitian	Direktorat Jenderal Pengendalian DAS dan DEMNAS Inageoportel
7.	Data peta jenis tanah	Sebagai salah satu kriteria dalam penelitian ini	Data sistem lahan (<i>landsystem</i>) RePPProT
8.	Peta Geologi	untuk data pembangun faktor litologi	Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Indonesia

2.3 Prosedur Penelitian

Secara umum, langkah-langkah penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang terorganisir dan sistematis meliputi persiapan data, analisis data, validasi, dan hasil penelitian. Pada Gambar 2 dijelaskan metode penelitian yang akan dilakukan seperti dibawah ini :



Gambar 2. Prosedur penelitian

2.3.1 Persiapan Data Penelitian

Pada tahap persiapan data terdapat 4 jenis data yang diolah yaitu citra satelit *sentinel-1* SAR dengan format *Single Look Complex* (SLC), citra *sentinel-2*, DEMNAS, dan data tambahan berupa faktor penyebab longsor yaitu batas DAS, curah hujan, jenis tanah, litologi, jarak dari sungai, kemiringan lereng, ketinggian, dan tutupan lahan di DAS Ujung Loe yang akan digunakan untuk keperluan analisis kriteria penentu kerawanan longsor dengan metode Frekuensi Rasio pada *software* ArcGIS 10.4. Semua data tersebut sangat penting dalam identifikasi dan analisis kerawanan longsor di Daerah Aliran Sungai Ujung Loe. Adapun *software* yang digunakan untuk menganalisis dan validasi model yaitu ArcGIS 10.4, SNAP 11, *Microsoft office*, *Google Earth Pro*, dan SPSS.

2.3.2 Inventarisasi Tanah Longsor

Pada penelitian ini data inventarisasi dan identifikasi tanah longsor yang digunakan adalah data dari tahun 2021 hingga tahun 2023. Dalam identifikasi citra dilakukan dengan menggunakan metode DInSAR yang dianalisis berdasarkan karakteristik deformasi dan interpretasi visual (Huang, et al., 2023). Pengolahan citra *sentinel-1* SAR diolah menggunakan *software* SNAP dan ArcGIS yang kemudian menghasilkan sebaran longsor.

Metode DInSAR Dalam Pengelolaan Citra *Sentinel-1*

Pada tahap analisa ini dilakukan pengolahan citra berdasarkan metode DInSAR untuk mendapatkan informasi sebaran longsor pada tahun 2021 hingga tahun 2023. Perubahan deformasi yang signifikan, meningkatkan potensi tanah longsor di wilayah perbukitan. Berikut adalah tahap pengolahan citra dengan menggunakan *software* SNAP (Braun, A., & Veci, L, 2021):

1) Proses Pengumpulan dan Pemilihan Data

Dalam penelitian ini menggunakan citra *sentinel-1* di unduh pada halaman *website* Alaska <https://search.asf.alaska.edu/> dengan karakteristik mempunyai tipe *Single Look Complex* (SLC), sensor *C-band* periode tahun 2021-2023. Citra yang dipilih merupakan citra sebelum kejadian longsor dan setelah terjadi longsor untuk mengetahui perubahan deformasi yang terjadi selama longsor.

2) *Coregistration*

Coregistration dibutuhkan untuk memastikan data yang terekam pada citra SAR mempunyai koordinat yang sama. Pertama, pengolahan akan dilakukan dengan TOPSAR Split untuk mengambil daerah DAS Ujung Loe dari citra yang telah diunduh. Kemudian proses *Apply Orbit File* digunakan untuk memotong daerah DAS Ujung Loe. Tahap tersebut dilakukan dengan dua citra master dan *slave*. Selanjutnya, proses integrasi dilakukan dengan *coregistration Back Geocoding*. *Enhanced Spectral Diversity* digunakan untuk mempertajam spektral gambar.

3) *Interferogram Formation and Coherence Estimation*

Interferogram yaitu menggabungkan citra *master* dan *slave* untuk membuat citra *interferogram* yang mengandung informasi tentang perubahan *phase* pada waktu awal dan akhir. Nilai koherensi dapat dilanjutkan jika lebih besar dari 0,2. Jika nilainya rendah, pasangan citra harus diganti.

4) *TOPSAR Deburts*

Pada tahapan interferogram tiap *bursts*nya masih terpisah sehingga terlihat perpotongan yang ditandai dengan garis-garis hitam pada gambar citra, maka perlu dilakukan proses *TOPSART deburst* untuk menggabungkan ketiga *burst* yang terpisah dengan garis hitam di setiap *burst* (Puspitarini, 2022).

5) *Topografi phase removal*

Pendataran, penghapusan topografi, dan *filtering* adalah tahapan *topografi phase removal*. Dalam penghapusan efek topografi menggunakan metode *two-pass differential interferometric*. Data yang digunakan pada tahap ini adalah citra *interferogram* dan DEM SRTM. DEM SRTM tersedia secara otomatis dalam *software SNAP*.

6) *Goldstein Phase Filtering*

Untuk mengurangi atau menghilangkan *phase* gangguan yang ada pada citra menggunakan *Goldstein phase filtering* dengan setelan tetap dari fitur SNAP.

7) *Phase Unwrapping*

Pada tahap ini untuk menghilangkan ambiguitas *phase* dilakukan untuk mendapatkan *phase absolut*. *Phase absolut* adalah *phase* tampilan citra yang sebenarnya, dimana sebelumnya masih belum menunjukkan tampilan sebenarnya. Tahap ini menggunakan alat tambahan seperti SNAPHU yang dapat diunduh dari penyedia data <https://step.esa.int/main/third-party-plugins/2/SNAPHU/>. Proses tersebut dilakukan pada menu *command prompt* yang ada di windows.

8) *Phase to Displacement*

Pada tahapan ini, nilai beda *phase* dari citra *master* dan citra *slave* diubah menjadi nilai deformasi dalam ukuran metrik sepanjang *Line of Sight* (LOS). LOS adalah area yang terekam oleh sensor berdasarkan sudut perekaman satelit. Proses perubahan ini dilakukan menggunakan *tools phase to displacement* di perangkat lunak SNAP (Chen dan Zebker, 2002). LOS *displacement* yang disebabkan karena longsor bisa dihitung menggunakan persamaan dengan memasukkannya di *tools band math*:

$$dLOS = \frac{\lambda \times d\phi}{4\pi \times \theta} \quad (1)$$

Keterangan :

- Dφ = Perbedaan *phase differential* (πrad)
- θ = Sudut datang pada setiap piksel (π)
- λ = Panjang gelombang pada *band C* (5,6 cm)

9) *Geocoding dan Cropping Area*

Tahapan ini dilakukan untuk mengubah sistem koordinat pada *interferogram* dari sistem koordinat radar menjadi sistem koordinat georeferensi. Kemudian dilakukan *Cropping Area* yaitu proses pemotongan citra yang telah selesai diolah menjadi data *phase to displacement* dengan melakukan pemotongan citra sesuai dengan batas DAS Ujung Loe (Calista, A., 2021).

Identifikasi Kejadian Longsor

Dari hasil sebaran longsor yang diperoleh dengan metode DInSAR menghasilkan data dalam format raster. Kemudian data tersebut dianalisis pada *software* ArcGIS dengan menggunakan *tools reclassify* untuk mendapatkan data dengan laju pergerakan longsor tertinggi dan dikonversi menjadi data vektor. Setelah itu dilakukan eliminasi pada setiap tahun agar mendapatkan data longsor yang sesuai dengan kriteria dengan mengeliminasi kemiringan lereng yang kurang dari 8% karena keberadaan tanah longsor diperkirakan sangat tidak mungkin (Van Natijne et al., 2022). Semua data longsor dari tahun 2021 hingga 2023 digabungkan dengan *tools merge* untuk menghasilkan sebaran longsor yang siap untuk dianalisis fakto-faktor yang berpengaruh pada kejadian tanah longsor di DAS Ujung Loe. Titik longsor yang diperoleh kemudian dilakukan survey lapangan (*ground check*). Validasi lapangan dilakukan dengan melakukan wawancara singkat kepada masyarakat sekitar wilayah sebaran longsor serta mengambil titik validasi longsor. Hasil dari metode ini kemudian dilakukan uji akurasi sistem melalui perbandingan hasil identifikasi dengan keadaan lapangan. Perbandingan ini menggunakan uji akurasi *kappa* dengan bantuan *matrix* kesalahan atau *confusion matrix* dan menunjukkan nilai akurasi keseluruhan, sebagai cara untuk mengetahui tingkat eror dalam mendigitasi di citra (data prediksi) dan dibandingkan dengan data di lapangan (data aktual). Berikut perhitungan uji akurasi klasifikasi citra dilakukan dengan menggunakan metode *confusion matrix* yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. *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 inter

A,B,C = Data Acuan pretasi citra

X_{ii} = Data yang diuji

X_{+i} = Jumlah masing-masing data acuan

X_{i+} = masing-masing data klasifikasi citra

N = Total Jumlah data yang diuji

Pengujian ketelitian klasifikasi bertujuan untuk melihat kesalahan-kesalahan klasifikasi sehingga diketahui persentase ketepatannya. Klasifikasi citra dianggap benar jika hasil perhitungan *confusion matrix* nilai yang diterima yaitu 85% (Riswanto, 2009).

Perhitungan akurasi suatu klasifikasi dapat dihitung menggunakan *kappa accuracy* dengan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan:

- X_{ii} = Nilai diagonal dari *matrix* kontingensi baris ke-i dan kolom ke-i
- X_{+i} = 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*

2.3.3 Faktor yang Mempengaruhi Tanah Longsor

Adapun faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kejadian tanah longsor yang diterapkan dalam penelitian ini yaitu :

Curah Hujan. Diperoleh dari data titik CHRS (*Center for Hydrometeorology and Remote Sensing*) untuk mengidentifikasi titik stasiun terdekat dari DAS dan data spasial curah hujan dari situs CHRS. Analisis curah hujan dilakukan menggunakan aplikasi GIS dengan metode *isohyet*. Menurut Suharsono dan Supriatna (2024), resiko tanah longsor dapat terjadi ketika curah hujan dengan intensitas yang tinggi, khususnya ketika curah hujan berada pada ambang batas tertentu yang dapat mengganggu kestabilan tanah.

Kemiringan Lereng. Pada lereng yang curam umumnya dapat terjadi tanah longsor dengan tingkat kemiringan lereng dan memiliki intensitas hujan tinggi. Data lereng ini berasal dari data DEMNAS yang tersedia pada portal. Data lereng tersebut akan diproses dalam aplikasi ArcGIS menggunakan *tools slope*, kemudian akan diklasifikasikan menggunakan alat yang tersedia. Kelas lereng terdiri dari 5 (lima) kelas berdasarkan hasil pengelolaan data yaitu kelas lereng <8% (datar), 8% - 15% (landai), 15% - 25% (agak curam) 25% - 45% (curam) dan >45% (sangat curam). Hal tersebut yang menjadi salah satu faktor penyebab terjadinya tanah longsor (Firdauset al., 2024).

Jarak Dari Sungai. Pembuatan peta jarak dari sungai menggunakan data DEMNAS untuk diolah dengan *tools hydrology* pada ArcGIS. Proses ini menghasilkan berbagai alur dalam jaringan sungai. Selanjutnya, untuk menghasilkan jarak dari sungai akan dilakukan pengelolaan dengan *tools Euclidean Distance*. Hasil dari pengelolaan data terdapat 6 (enam) kelas yaitu 0-20 m, 20-40 m, 40-60 m, 60-80 m, 80-100 m dan >100 m. Menurut Subekti (2017), salah satu pemicu terjadi longsor pada lereng adalah air sungai, karena air dapat berperan membangun tekanan air pori dan dapat mengurangi kekuatan geser batuan.

Litologi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Indonesia mengeluarkan peta geologi yang digunakan untuk membuat peta litologi. Keluaran ekstraksi ini menghasilkan beragam bentukan batuan yang rawan terhadap tanah longsor. Menurut Mandalawangi dan Yuda (2024), Suatu lereng menjadi lebih labil dan rentan longsor ketika batuan sedimen yang menyusunnya mengalami pelapukan berat. Contoh batuan Endapan Aluminium (Qac) dan Breksi vulkanik (Qlvb).

Ketinggian. Ketinggian memiliki peran kunci dalam mengontrol arah aliran limbah dan dalam kedalaman level air (Ogato et al., 2020). Data DEMNAS akan menghasilkan peta

ketinggian yang berbeda dari wilayah dengan wilayah lainnya, sama halnya dengan peta kemiringan lereng. Untuk menghasilkan kelas klasifikasi ketinggian dengan menggunakan *tools natural break* pada aplikasi ArcGIS. Hasil dari pengelolaan data terdapat 5 kelas yaitu 0 – 500 m, 500 – 1000 m, 1.000 – 1.500 m, 1500 – 2.000 m dan >2.000 m.

Penutupan Lahan. Penutupan lahan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi tanah longsor. Data penutupan lahan diambil dari citra *sentinel-2* tahun 2023 pada *platform Esa Copernicus* yang akan didigitasi tidak terbimbing dengan acuan klasifikasi dari Direktorat Perdirjen Planologi tahun 2021. Hasil dari metode ini kemudian dilakukan uji akurasi sistem melalui perbandingan hasil peta klasifikasi dengan keadaan lapangan. Nilai akurasi keseluruhan ditunjukkan dalam perbandingan ini menggunakan uji akurasi *kappa* dengan bantuan *confusion matrix*. Hal ini digunakan untuk menentukan tingkat eror dalam digitasi pada citra yang merupakan data prediksi dan untuk membandingkannya dengan data aktual.

Jenis Tanah. Jenis tanah mempengaruhi stabilitas dan kerawanan tanah longsor.. Sistem lahan dari *Regional Physical Planning Program for Transmigration (RePPPProt)* menyediakan informasi tentang jenis tanah yang digunakan dalam penelitian ini (Darmawan et al., 2017).

2.3.4 Analisis Data

Analisis Faktor yang Berpengaruh Terhadap Kejadian Longsor

Analisis yang digunakan dalam menentukan faktor yang mempengaruhi kejadian tanah longsor yaitu metode Frekuensi Rasio (FR). Model FR didasarkan pada klasifikasi keadaan faktor penyebab tertentu dan menghitung tingkat pengaruh terhadap tanah longsor, yang merupakan metode analisis statistik berdasarkan evaluasi kerentanan (Wang, et al., 2020). Ketika rasio frekuensi lebih besar dari 1, ini menunjukkan bahwa faktor tersebut memiliki korelasi yang kuat dengan terjadinya tanah longsor; Ketika rasio frekuensi kurang dari 1, ini menunjukkan bahwa korelasi antara faktor dan terjadinya tanah longsor lemah (Chen et al., 2019).

Sebelum menganalisis peta kerawanan, faktor dari setiap variabel harus dievaluasi secara individual dengan metode statistik bivariat dan kemudian diklasifikasikan untuk memiliki hubungan langsung atau terbalik dengan terjadinya tanah longsor (Cantarino et al., 2023). Berikut persamaan yang digunakan (Soma dan Kubota, 2019):

$$FR = \frac{P_{xcL} / \sum p_{xcL}}{P_{nXL} / \sum P_{nXL}} \quad (3)$$

Keterangan :

FR	= Frekuensi Rasio
P_{xcL}	= Jumlah piksel longsor untuk setiap kelas faktor
$\sum P_{xcL}$	= Total piksel longsor di daerah penelitian
P_{nXL}	= Jumlah piksel dalam area kelas faktor
$\sum P_{nXL}$	= Total piksel di daerah penelitian.

Indeks Kerawanan Longsor

Untuk membuat indeks kerawanan tanah longsor dengan *Landslides Susceptibility Index* (LSI), peta raster nilai frekuensi rasio dibuat dari semua faktor penyebabnya dan kemudian menggunakan rumus untuk menggabungkan nilai-nilai (Soma & Kubota, 2017):

$$LSI = Fr_1 + Fr_2 + \dots + Fr_n \quad (4)$$

Keterangan :

Fr_1 , Fr_2 , dan Fr_n = Peta raster frekuensi rasio untuk faktor penyebab terjadinya longsor.

2.3.5 Uji Validasi

Validasi peta kerawanan tanah longsor dan menentukan keakuratannya merupakan aspek penting dari penelitian kerawanan tanah longsor. Verifikasi peta kerawanan tanah longsor sangat penting. Ketelitian penelitian akan sangat melemah dan hasil penelitian tidak memiliki signifikansi ilmiah (Chen et al., 2019). Validasi dilakukan dengan menggunakan analisis ROC (*Receiver Operating Characteristic*) yang menghasilkan nilai akurasi prediksi AUC (*Area Under Curve*). Penelitian ini melibatkan dua tahap validasi yaitu tahap pertama menggunakan lokasi longsor sebesar 70% untuk mengukur tingkat keberhasilan model, sedangkan tahap kedua menggunakan lokasi longsor sebesar 30% untuk menilai kemampuan prediksi model. Menurut Gholamy et al., (2019), studi empiris menunjukkan bahwa hasil terbaik diperoleh jika kita menggunakan 20-30% data untuk pengujian, dan 70-80% data sisanya untuk pelatihan. Pemilihan data dilakukan secara acak melalui metode *tools pixel sampling* dengan menggunakan *software ArcGis*, dan data tersebut kemudian diolah menggunakan *software Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS). SPSS dipilih sebagai alat untuk memasukkan hasil perhitungan frekuensi rasio.

2.3.6 Analisis Peta Kerawanan Longsor

Peta kerawanan tanah longsor dihasilkan melalui analisis tujuh faktor yang mempengaruhi kerawanan tanah longsor di DAS Ujung Loe. Faktor-faktor tersebut mencakup penutupan lahan, curah hujan, kemiringan lereng, ketinggian, jarak ke sungai, jenis tanah dan litologi. Dalam analisis menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG), semua faktor ini diolah menjadi data raster dengan jumlah piksel yang sama. Indeks kerawanan longsor diperoleh melalui pengklasifikasian kelas menggunakan model *natural break* (Jenks). Tujuan metode klasifikasi *natural break* (Jenks) adalah untuk menghasilkan susunan nilai terbaik kedalam kelas yang berbeda dan mengurangi variasi dalam kelas serta meningkatkan variasi antar kelas (J. Chen et al., 2013). Nilai indeks kerawanan longsor diklasifikasikan menjadi 5 tingkat kerawanan tanah longsor yaitu kelas sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi yang dapat disajikan dalam bentuk peta tingkat kerawanan tanah longsor.