

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Morfologi daerah aliran sungai (DAS) mencerminkan berbagai faktor penting yang dipelajari dalam pengembangan suatu kawasan. Analisis morfologi DAS secara rinci memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi potensi dan ancaman yang ada di wilayah tersebut, seperti risiko banjir, erosi, dan ketersediaan sumber daya air (Uca *et al.*, 2021). Morfologi daerah aliran sungai menyediakan informasi yang komprehensif untuk mendukung pengelolaan DAS secara efektif, terutama dalam upaya mitigasi risiko di masa depan. Pelaksanaan dan perencanaan berbasis biofisik dalam pengelolaan DAS yang efektif dan efisien mencakup evaluasi penggunaan lahan dan dinamika serta, proses alam di dalam DAS untuk memastikan keberlanjutan sumber daya alam (Paimin *et al.*, 2012). Pentingnya pengelolaan DAS untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan memastikan keberlanjutan sumber daya alam (Putra *et al.*, 2019)

Sensitivitas ekologi didefinisikan sebagai indikator yang menunjukkan tingkat kerentanan suatu ekosistem terhadap gangguan atau perubahan lingkungan (Zhang 2010 dalam Cui *et al.*, 2022). Sensitivitas ekologi digunakan untuk mengukur kapasitas suatu ekosistem untuk menahan gangguan eksternal, alami atau buatan manusia, dan kemampuannya untuk pulih setelah terganggu oleh gangguan serta dapat diandalkan untuk pemulihan ekologi (Li, 2017). Semakin tinggi tingkat sensitivitas semakin tinggi nilai ekologis area tersebut, maka semakin rentan untuk terkena dampak pembangunan dan konstruksi. Tingkat evaluasi sensitivitas rendah menunjukkan bahwa area tersebut dapat menahan gangguan konstruksi manusia dan dapat dikembangkan sampai batas tertentu (Xu *et al.*, 2023). Evaluasi sensitivitas ekologis dapat membantu manusia untuk melakukan dan menentukan potensi masalah ekologi dalam konteks lingkungan alam (Rossi *et al.*, 2008 dalam Cui *et al.*, 2022).

Kemiringan lereng berperan penting dalam pengendalian lingkungan dengan memengaruhi sebaran jenis tanaman, erosi tanah, dan potensi bencana (Prasannakumar *et al.*, 2021). Hutan menutupi sebagian besar wilayah dan iklim terutama curah hujan memengaruhi jenis serta pertumbuhan tanaman (Xu *et al.*, 2023). Kerusakan vegetasi mengurangi efektivitas sistem perlindungan pada daerah aliran sungai (Maulana *et al.*, 2014). Vegetasi memiliki banyak fungsi ekologi dan merupakan faktor ekologi yang mencerminkan sensitivitas ekologi yang dapat diukur dengan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) untuk mengevaluasi kerapatan dan kesehatan vegetasi (Chen *et al.*, 2023).

Aktivitas manusia telah memberikan dampak yang sangat besar terhadap bentang alam bahwa hubungan buruk antara manusia dan alam dapat menyebabkan masalah seperti anomali iklim, yang diperburuk oleh aktivitas manusia seperti deforestasi dan perubahan penggunaan lahan serta kerentanan

ekologis (Bulumanu dan Riyanto, 2024). Semakin banyak jumlah penduduk dan semakin heterogen karakteristik penduduk memungkinkan banyaknya jenis aktivitas yang terjadi di suatu Kawasan (Munthe dan Handayani, 2024). Daerah aliran sungai Bila terletak di tiga wilayah, yaitu Kabupaten Enrekang, Kabupaten Sidenreng Rappang dan Kabupaten Wajo dengan luas 160.937,19 hektar. Menurut data Badan Pusat Statistik selama lima tahun terakhir, Kabupaten Enrekang mengalami peningkatan sebesar 6,25%, Kabupaten Sidenreng Rappang mengalami peningkatan 3,36% dan Kabupaten Wajo mengalami peningkatan 3,32%. Pentingnya pendekatan pembangunan berkelanjutan untuk menghindari kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh kebutuhan manusia yang meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi (Khairunnisa et al, 2025). Pertumbuhan penduduk yang cepat dan urbanisasi menyebabkan perubahan penggunaan lahan, penggundulan hutan dan pembangunan infrastruktur yang luas. Pada wilayah pertanian khususnya, telah memainkan peran sentral dalam membentuk lanskap. Perluasan sawah, perkebunan kelapa sawit, dan tanaman lainnya telah mengubah tidak hanya tutupan lahan tetapi juga hidrologi (Nofirman, et al., 2023). Sebagai strategi yang efektif untuk mempertahankan keseimbangan ekologi dan mendorong pengembangan ekosistem yang berkelanjutan, indeks sensitivitas ekologi diterapkan dalam perencanaan dan pengelolaan lanskap dengan memanfaatkan analisis komponen utama (Principal Component Analysis).

Sensitivitas suatu DAS menggambarkan tingkat kerentanan ekosistem terhadap perubahan lingkungan, dipengaruhi oleh kondisi lanskap, kemiringan lereng, tutupan vegetasi, dan curah hujan. DAS sangat penting sebagai penyedia sumber daya air dan penyeimbang lingkungan. Namun, deforestasi, perubahan lahan, erosi, dan perubahan pola curah hujan dapat mempercepat degradasi fungsi DAS, meningkatkan risiko banjir dan longsor yang mengancam ekosistem dan masyarakat (Jariyah dan Pramono, 2018). Oleh karena itu, penelitian ini mengidentifikasi kerentanan DAS dengan menggunakan data curah hujan, kelerengan dan tutupan vegetasi sebagai dasar untuk merumuskan kebijakan pengelolaan dan mitigasi yang berkelanjutan guna menjaga fungsi ekologis dan mencegah kerusakan lingkungan yang lebih luas (Santosa dan Wahyuni, 2025).

Daerah Aliran Sungai (DAS) Bila merupakan salah satu DAS kategori prioritas nasional yang diklasifikasikan sebagai DAS kritis oleh pemerintah. Dalam konteks pengelolaan sumber daya alam, perlu ditekankan bahwa DAS Bila-Walanae telah resmi diklasifikasikan sebagai DAS kritis berdasarkan Surat Keputusan Menteri Kehutanan dan Perkebunan No. 284/Kpts-II/1999, yang mencerminkan tantangan besar dalam menjaga kelestarian ekosistemnya. Bagian hulu DAS Bila terletak di Kabupaten Enrekang, sementara bagian hilir berada di Kabupaten Wajo. Besarnya kebutuhan masyarakat akan lahan pertanian dan pemukiman mengakibatkan terjadinya ketidakseimbangan hidrologi pada wilayah DAS Bila (Staddal, et al., 2016). Pada tahun 2024 Kabupaten Enrekang mengalami 3 kejadian bencana alam tanah longsor dan 2

bencana alam banjir, Kabupaten Sidenreng Rappang mengalami 3 kejadian bencana alam banjir dan kabupaten Wajo mengalami 4 kejadian bencana alam banjir. Untuk memperoleh informasi lebih lanjut mengenai tingkat kerentanan di wilayah DAS Bila, perlu dilakukan identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kerentanan pada DAS Bila dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (GIS). Informasi kerentanan dari identifikasi ini menjadi dasar perencanaan agar lahan dapat dimanfaatkan secara optimal namun tetap memperhatikan aspek kerentanannya.

## **1.2 Tujuan dan Kegunaan**

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi sensitivitas ekologi pada wilayah DAS Bila
2. Membangun model indeks sensitivitas ekologi pada DAS bila
3. Memprediksi indeks sensitivitas ekologi tahun 2034 di wilayah DAS Bila

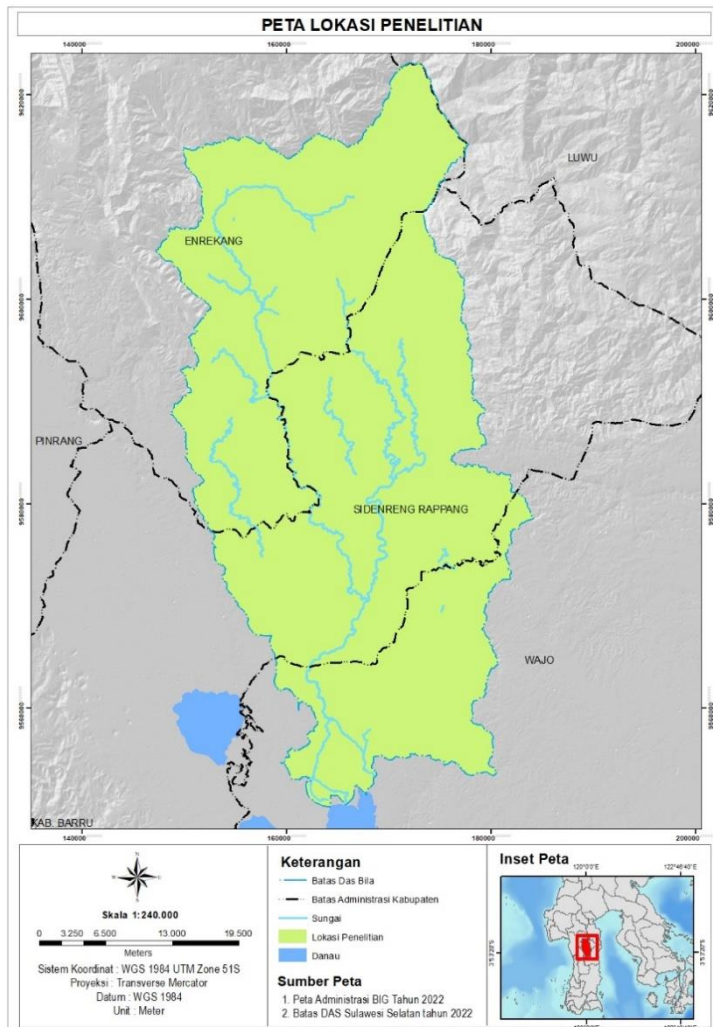
Penelitian ini bermanfaat untuk membantu mengidentifikasi sensitivitas ekologi dengan merancang strategi yang lebih efektif untuk menjaga keseimbangan ekosistem serta kerusakan lingkungan. Model indeks sensitivitas ekologi dapat memberikan tolak ukur yang objektif untuk menilai kondisi lingkungan yang bisa digunakan sebagai referensi pengelolaan sumber daya alam dan perencanaan tata ruang. Dengan memprediksi sensitivitas ekologi, penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan wawasan bagaimana pentingnya perubahan mempengaruhi kondisi ekologi di masa depan untuk perencanaan jangka panjang dan pengelolaan sumber daya alam wilayah DAS Bila.

## BAB II

### METODE PENELITIAN

#### 2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan mulai dari bulan September 2024 hingga April 2025. Analisis data dilakukan di Laboratorium Perencanaan dan Sistem Informasi Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Makassar, sedangkan penelitian dilaksanakan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Bila yang secara geografis terletak diantara  $04^{\circ}52'04'' - 05^{\circ}03'04''$ LS dan  $120^{\circ}01'35'' - 120^{\circ}10'29''$ BT.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian wilayah DAS Bila

## 2.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dijabarkan pada **tabel 1** dan **tabel 2**.

**Tabel 1.** Alat yang digunakan dalam proses penelitian

No	Alat	Kegunaan
1	Laptop	Dilengkapi dengan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) sebagai alat untuk menjalankan program/aplikasi
2	<i>Receiver GPS</i> atau <i>Avensa Maps</i>	Digunakan sebagai alat untuk mencari dan mengambil titik dilapangan.
3	<i>Handphone</i>	Digunakan sebagai alat dokumentasi di lapangan
4	<i>Arcgis 10.4</i>	Digunakan untuk mengelolah dan menganalisis hasil identifikasi serta visualisasi data
5	<i>Microsoft Office</i>	Digunakan untuk mengolah data hasil analisis spasial dan pembuatan laporan
6	Alat tulis menulis	Digunakan untuk mencatat hasil pengamatan dilapangan

**Tabel 2.** Bahan yang digunakan dalam proses penelitian

No	Data	Kegunaan	Sumber
1	Peta DAS Bila	Sebagai daerah penelitian	Direktur Jendral Pengendalian Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung
2	<i>Digital elevation Model Nasional (DEMNAS)</i>	Sebagai bahan untuk pembuatan peta Kemiringan lereng	Badan Informasi Geospasial (BIG)
3	Citra Landsat 8 OLI	Sebagai analisis tutupan lahan dan kerapatan vegetasi	<a href="http://web">Web</a> <a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>
4	Data Iklim	Sebagai bahan analisis untuk menghasilkan data curah hujan	Satelit Merra <a href="https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/">https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/</a>

## 2.3 Prosedur penelitian

Tahapan penelitian ini terdiri atas pengumpulan data primer dan data sekunder. Data primer dalam penelitian ini adalah pengumpulan data dari hasil analisis spasial, pengecekan dan pengambilan data dilapangan. Selanjutnya, data sekunder merupakan pengambilan informasi dengan studi literatur.

### **2.3.1 Penentuan lokasi penelitian**

Pengumpulan informasi dengan studi literatur sebagai data sekunder dengan mencari artikel jurnal, buku maupun sumber-sumber yang lainnya yang dapat membantu dalam penelitian ini. Selanjutnya, melakukan penetapan lokasi penelitian Daerah Aliran Sungai (DAS) Bila yang didasari oleh Peta Batas DAS tahun 2022, data diperoleh dari Direktorat Jenderal Pengendalian Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung.

### **2.3.2 Analisis spasial**

Analisis spasial digunakan untuk memahami hubungan suatu peristiwa dengan objek-objek lain disekitarnya. Pengolahan citra satelit dilakukan dengan menggunakan metode digitasi *onscreen*. Metode analisis spasial yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode overlay dan metode skoring dengan melakukan pembobotan skoring pada beberapa parameter yang telah ditentukan. Berikut ini tahapan visualisasi citra yang dilakukan pada penelitian ini:

#### **2.3.2.1 Koreksi Radiometrik**

Koreksi radiometric digunakan untuk memperbaiki nilai pixel akibat gangguan atmosfer sebagai sumber kesalahan utama. Proses koreksi ini tersedia pada menu Semi-automatic Classification Plugin pada software QGIS Desktop.

#### **2.3.2.2 Penggabungan band**

Penggabungan band dalam kegiatan interpretasi citra dilakukan untuk memudahkan identifikasi objek di lokasi penelitian. Penggabungan band dapat menggunakan *tools composite bands* yang tersedia pada menu *Arctoolbox* aplikasi ArcGIS dengan mengkombinasikan band 4, 3 dan 2 pada Citra Satelit landsat 8-OLI untuk melihat tutupan lahan yang ada pada lokasi penelitian.

#### **2.3.2.3 Memotong citra**

Pemotongan citra (*cropping*) dapat dilakukan di aplikasi *arcgis* dengan menggunakan *tools extract by mask*. Citra dipotong sesuai dengan batas wilayah lokasi penelitian, yang mana dilakukan pemotongan dengan cara ditumpang tindihkan pada batas daerah aliran sungai Bila di Kabupaten Wajo, Kabupaten Enrekang dan Kabupaten Sidenreng Rappang.

#### **2.3.2.4 Interpretasi citra**

Interpretasi citra satelit untuk tutupan lahan dilakukan secara visual. Kegiatan ini dilaksanakan dengan membuat batas setiap kelas penutupan lahan dengan cara mendelinsi penampakan pada citra satelit yang tersaji di layar computer dengan menggunakan perangkat lunak pengindraan jauh dan sistem informasi geografis yaitu ArcGIS. Metode klasifikasi yang digunakan metode digitasi On Screen, identifikasi objek pada citra dengan memperhatikan unsur dan karakteristik citra (rona/warna, bentuk, ukuran, pola) dengan mengklasifikasikan beberapa penutupan lahan. Interpretasi citra dilakukan pada citra landsat 8 OLI tahun 2014,

2019, dan 2024. Metode ini didasarkan pada teori interpretasi citra yang menekankan pada penggunaan elemen visual untuk mengenali objek geografis tertentu (Lillensad, dkk. 2015). Hasil Interpretasi citra satelit untuk tutupan lahan menjadi dasar dalam melakukan analisis sensitivitas ekologi.

### 2.3.3 Pengumpulan data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

**Penutupan lahan.** Data penutupan lahan DAS Bila diperoleh dengan cara menginterpretasi citra Landsat 8-OLI tahun 2014, tahun 2019 dan tahun 2024, citra dapat diunduh di website <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Identifikasi objek pada citra dengan memperhatikan unsur dan karakteristik citra (Rona/warna, bentuk, ukuran, pola) serta mengacu pada juknis penafsiran citra satelit resolusi sedang untuk update data penutupan lahan nasional. Pemilihan jumlah lokasi titik sampel dilakukan secara spesifik pada setiap kelas tutupan lahan atas dasar pertimbangan masing-masing wilayah tutupan lahan.

**Prediksi penutupan lahan.** Prediksi dan Pemodelan penutupan lahan dibangun dengan mengkombinasikan model dinamika perubahan lahan dengan SIG (Purnomo, 2019). Prediksi dilakukan menggunakan aplikasi Quantum GIS yang terintegrasi dengan plugin *Modules for Land Use Change Evaluation* (MOLUSCE). *Molusce* sendiri menggunakan *cellular automata* untuk memprediksi perubahan lahan dan metode *artificial neural network* untuk membuat model perubahan penutupan lahan. *Molusce* memerlukan data raster penutupan lahan minimal tiga tahun, yaitu dua untuk  $t_0$  (awal) dan  $t_1$  (akhir), serta satunya untuk  $t_2$  (validasi). Tahun prediksi diperoleh dari  $t_1 + (t_1 - t_0)$ , maka prediksi yang dihasilkan pada penelitian ini adalah  $2024 + (2024 - 2014) = 2034$ . Selanjutnya *Molusce* memerlukan minimal satu faktor pendorong terjadinya perubahan penutupan lahan yaitu jalan. Semua data raster juga harus memiliki resolusi spasial yang sama.

**Kerapatan vegetasi.** Nilai kerapatan vegetasi atau *Normalize Difference Vegetation Index* (NDVI) dianalisis dengan menggunakan software ArcMap 10.4 dengan tools *Raster Calculator*. *Normalize Difference Vegetation Index* (NDVI) dihitung berdasarkan selisih antara band radiasi inframerah dekat (NIR) dengan band radiasi merah lalu dibagi dengan band radiasi inframerah dekat ditambah band radiasi merah. NIR merupakan pantulan spektral pada saluran infra merah dekat dan RED merupakan pantulan spektral pada saluran merah. Hasil klasifikasi NDVI berupa raster dengan nilai piksel  $-1 < 0 < 1$ . Nilai NDVI yang tinggi dihasilkan dari kombinasi pantulan saluran NIR yang kuat dan pantulan saluran RED yang lemah. NDVI yang tinggi mengindikasikan tutupan lahan berupa vegetasi yang rapat, sedangkan nilai NDVI yang rendah menunjukkan area non vegetasi. Nilai kerapatan tegakan didekati dengan indeks vegetasi *normalized difference vegetation index* (NDVI) sebagai berikut (Larasati, et al., 2022):

$$NDVI = \frac{Band\ 5 - Band\ 4}{Band\ 5 + Band\ 4} \quad (1)$$

Dimana, Band 5 adalah nilai reflektan band infra merah (NIR) dan Band 4 adalah nilai reflektan band merah (R).

**Prediksi kerapatan vegetasi.** Prediksi kerapatan vegetasi dibuat menggunakan dua data kerapatan vegetasi pada waktu yang berbeda sebagai input dengan menggunakan pemodelan ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) pada software MatlabR2024b. ANFIS merupakan metode yang menggabungkan jaringan saraf tiruan (ANN) dengan sistem inferensi *fuzzy*. ANFIS dirancang untuk memanfaatkan kelebihan kedua pendekatan ini, yaitu kemampuan ANN dalam belajar dari data dan fleksibilitas logika *fuzzy* dalam menangani ketidakpastian dan pengetahuan berbasis bahasa. (Aziz et al., 2022). Pemodelan dibagi menjadi dua data yaitu data *training* (80%) dan data *testing* (20%). Data *training* digunakan untuk melatih model dalam data, sedangkan data *testing* digunakan untuk menguji model yang telah dilatih (Muningsih, 2022). Model ANFIS dianggap memiliki akurasi prediksi yang baik jika nilai RMSE (Root Mean Square Error) pada tahap pengujian atau validasi menunjukkan nilai dibawah 20%, semakin kecil nilai RMSE maka semakin baik model dalam melakukan prediksi.

**Curah hujan.** Data curah hujan tahu 2014 hingga 2024 diperoleh dari POWER NASA, dapat diunduh melalui web <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Untuk melakukan download data curah hujan melalui satelit merra dengan menentukan batas wilayah kajian (DAS Bila) sebagai areal atau batasan dalam memperoleh data curah hujan. Membuat grid pada wilayah kajian dengan resolusi 1.0° lintang dan 1,0° bujur untuk set data radiasi dan ½° latitude dan ⅓° longitude untuk set data meteorologi, kemudian menentukan titik koordinat pada masing-masing grid yang dijadikan sebagai titik stasiun. Mengakses pada link <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> kemudian memilih Data Access Viewer. Setelah itu memilih *Nasa Power Single Point*, kemudian menginput titik koordinat stasiun yang telah ditentukan pada point *latitude/longitude* pada *Location*, setelah itu memilih data yang ingin didownload yaitu curah hujan dengan format output CSV.

**Prediksi curah hujan.** Prediksi data iklim, khususnya curah hujan, dilakukan menggunakan program *Statistical Bias Correction for Climate Scenarios* (SiBias). Proses ini mencakup penyesuaian input data sesuai dengan format yang telah ditetapkan. Setelah data observasi dimasukkan, perangkat lunak secara otomatis membaca dan menghitung tahun prediksi yang akan dihasilkan. Dalam penelitian ini, digunakan skenario RCP4.5 dan GCM CSIRO Mk3.6.0 dengan metode proyeksi delta, yang merupakan salah satu metode paling sederhana dan umum digunakan dalam penyusunan skenario perubahan iklim.

**Kemiringan lereng.** Data Kemiringan lereng diperoleh dari data DEMNAS, kemudian dilakukan analisis menggunakan tools *Raster Surface, Reclassify* dan konversi *raster* ke polygon menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Data kemiringan lereng dan ketinggian dapat digunakan untuk mengetahui tingkat



kelas kelerengan pada suatu wilayah. Data DEMNAS dapat diunduh melalui website <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/demnas>

#### 2.3.4 Pengecekan Data Lapangan

Pengecekan lapangan bertujuan untuk melakukan koreksi terhadap hasil interpretasi penutupan lahan serta pengamatan kondisi penutupan lahan yang telah ditentukan sebelumnya. Tujuannya untuk membandingkan kondisi penutupan lahan di lapangan dengan hasil interpretasi citra penutupan lahan yang ada. Kegiatan pengecekan lapangan dimulai dengan menentukan titik koordinat perwakilan pada setiap kelas penutupan lahan yang ada.

Penentuan area contoh dilakukan untuk mengidentifikasi area contoh yang mewakili setiap kelas penutupan lahan yang diinginkan dan membangun suatu deskripsi numerik dari spektral tiap penutupan lahan tersebut. Penetapan titik sampel ditentukan secara purposive sampling yaitu memilih lokasi yang dijadikan sebagai titik sampling yang mewakili setiap bentuk penutupan lahan yang ada. Sampel koordinat perwakilan yang telah ditentukan kemudian dilakukan proses pengecekan di lapangan berdasarkan titik-titik koordinatnya masing-masing untuk melihat kesesuaian antara hasil interpretasi dengan kenyataan di lapangan. Penetapan titik sampel dilakukan dengan mempertimbangkan faktor kemudahan aksesibilitas dengan maksimal jarak dari akses yaitu 500m dari setiap penutupan lahan yang dipilih. Survey lapangan dilakukan dengan tujuan untuk melakukan koreksi terhadap hasil klasifikasi penutupan lahan. Penelitian ini menggunakan rumus *Slovin* dengan batas Tingkat toleransi kesalahan atau *Margin of Error* ialah 10%. Adapun rumus *Slovin* ialah sebagai berikut:

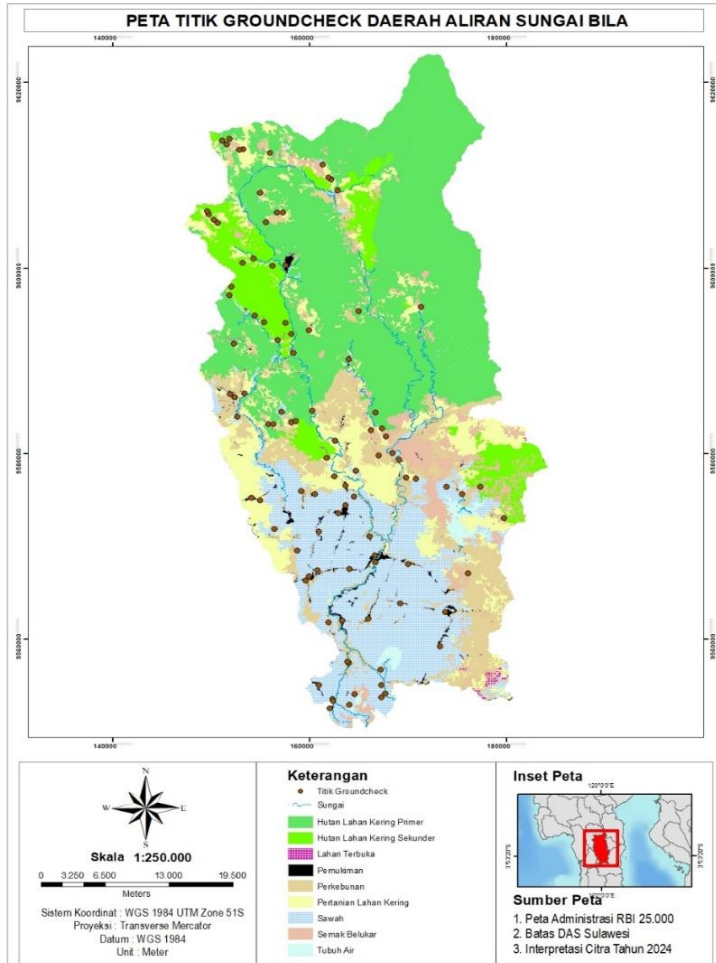
$$n = \frac{N}{(1+Ne^2)} \quad (2)$$

Keterangan, n = Jumlah Sampel

N = Jumlah Poligon Tiap Kelas

e = Batas Toleransi Kesalahan (Margin of Error)

Titik sampel yang dihasilkan dari penghitungan rumus Slovin diatas yaitu sebanyak 100 titik sampel dengan margin of error 10%. Persebaran titik koordinat perwakilan dapat dilihat pada **gambar 2** dengan menggunakan 9 kelas penutupan lahan.



**Gambar 2.** Peta Titik *Groundcheck*

### 2.3.5 Uji Akurasi

Untuk menguji keakuratan interpretasi citra maka dilakukan uji akurasi citra. Akurasi merupakan perbandingan antara data hasil interpretasi dengan kondisi lapangan. Perhitungan akurasi interpretasi citra dilakukan dengan tabel *confusion matrix*. Pada *confusion matrix*, data hasil interpretasi citra dan data hasil pengecekan lapangan disusun dalam sebuah tabel perbandingan persentase.

**Tabel 3.** *Confusion Matrix*

	Data Interpretasi			Total baris	<i>Producer's accuracy</i>
	A	B	C		
Data Lapangan	A	X		$X_{i+}$	$X/X_{i+}$
	B		X		
	C			X	
Total		$X+1$		N	

Setelah memperoleh data tabel *confusion matrix* maka, selanjutnya akan dilakukan pengujian akurasi dengan menggunakan perhitungan *kappa accuracy*. Menurut Jaya (2014) dalam Muhammad, *et. al.* (2023), secara matematis akurasi kappa disajikan sebagai berikut:

$$\text{Kappa } (k) = \frac{N \sum X - \sum X_i X_{+i}}{N^2 - \sum X_{i+} X_{+i}} 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

K = Nilai Kappa

r = Jumlah baris dalam matrik konfusi

X<sub>ii</sub> = Nilai diagonal dari matriks kontingensi baris ke-i dan kolom ke-i

X<sub>+i</sub> = Jumlah piksel dalam kolom ke-i

X<sub>i+</sub> = Jumlah piksel dalam baris ke-i

N = Banyaknya piksel dalam contoh

Uji hasil akurasi digunakan untuk mengetahui tingkat ketelitian pemetaan saat melakukan proses klasifikasi. Klasifikasi citra dianggap benar apabila hasil perhitungan matriks konfusi nilai yang dapat diterima yaitu  $\geq 85\%$  atau 0,85 (Arison dang, 2015).

## 2.4 Analisis data

### **Principal component analysis (PCA)**

Analisis *sensitivity* indeks menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA) dengan mengidentifikasi faktor-faktor utama yang berkontribusi berfokus terhadap kerentanan. *Principal Component Analysis* (PCA) atau analisis komponen utama merupakan suatu teknik statistika untuk mentransformasi variabel-variabel asli yang saling berkorelasi satu dengan yang lain menjadi satu set variabel baru yang tidak berkorelasi lagi. Analisis kerentanan lingkungan dilakukan dengan mengoverlay parameter-parameter yang telah diberi skoring diantaranya penutupan lahan, kemiringan lereng, kerapatan vegetasi dan curah hujan. Pemberian nilai pada tiap kelas masing-masing parameter relatif sama yakni 1-5, sedangkan dalam pemberian bobot tergantung pada seberapa besar pengaruh dari setiap parameter terhadap tingkat kerawanan (Akhbar, 2019).

**Tabel 4.** Klasifikasi tutupan lahan dan skor tutupan lahan

Tipe Tutupan Lahan	Skor
Lahan terbuka/Tubuh air/Sawah	1
Pemukiman/Pertanian lahan kering	2
Semak belukar	3
Perkebunan	4
Hutan lahan kering primer/Hutan lahan kering sekunder	5

Pemberian bobot pada setiap jenis penutupan lahan bertujuan untuk menilai tingkat sensitivitas lingkungan terhadap aktivitas manusia berdasarkan karakteristik ekologi dan dampaknya. Bobot diberikan berdasarkan faktor seperti

kemampuan lahan menyerap air, keanekaragaman hayati, serta tingkat gangguan manusia.

**Tabel 5.** Klasifikasi kemiringan lereng dan skor kemiringan lereng

Kelas kemiringan lereng	Kriteria (%)	Skor
Datar	0-8%	1
Landai	8-15%	2
Agak curam	15-25%	3
Curam	25-45%	4
Sangat curam	>45%	5

Pemberian bobot pada kemiringan lereng yang rentan terhadap sensitivitas lingkungan dilakukan untuk menilai tingkat kerentanan suatu wilayah terhadap degradasi lahan dan bencana alam, seperti erosi dan longsor. Kelas lereng datar diberi skor 1 sementara kelas lereng sangat curam diberi skor 5 yang mengindikasikan bahwa semakin curam suatu wilayah maka semakin tidak sesuai untuk kawasan permukiman (Prabandari dan Winowo, 2024).

**Tabel 6.** Klasifikasi kerapatan vegetasi dan skor kerapatan vegetasi

Kelas Kerapatan Vegetasi	Nilai	Skor
Kerapatan sangat rendah	$-1 \leq NDVI < 0,12$	1
Kerapatan rendah	$0,1 \leq NDVI < 0,22$	2
Kerapatan sedang	$0,22 \leq NDVI < 0,42$	3
Kerapatan tinggi	$0,42 \leq NDVI < 0,72$	4
Kerapatan sangat tinggi	$0,72 \leq NDVI < 1$	5

Pemberian skor terhadap kerapatan vegetasi mempresentasikan penggunaan lahan yang mengandung unsur vegetasi rapat sampai tidak mempunyai vegetasi sama sekali (Xu *et al.*, 2023). Semakin tinggi nilai NDVI yang didapatkan, maka semakin tinggi tingkat kerapatan dan kesehatan vegetasi di suatu area, yang berfungsi sebagai penyedia jasa ekosistem, membantu mitigasi perubahan iklim, serta menjaga kualitas udara.

**Tabel 7.** Klasifikasi curah hujan dan skor curah hujan

Keterangan	Curah hujan (mm/tahun)	Skor
Sangat kering	0-1.500 mm/tahun	1
Kering	1.500-2.000 mm/tahun	2
Sedang	2.000-2.500 mm/tahun	3
Basah	2.500-3.000 mm/tahun	4
Sangat basah	>3.000 mm/tahun	5

Pemberian bobot pada curah hujan yang rentan terhadap sensitivitas lingkungan untuk menilai dampaknya terhadap kestabilan ekosistem dan risiko bencana. Curah hujan yang tinggi biasanya diberi bobot lebih besar karena dapat meningkatkan risiko erosi, longsor, dan banjir, terutama di daerah dengan kemiringan curam atau vegetasi minim. Sebaliknya, daerah dengan curah hujan

rendah cenderung lebih rentan terhadap kekeringan dan degradasi lahan, sehingga juga perlu diberi bobot sesuai dengan tingkat risikonya.

**Principal Componen Analisis.** Dilakukan untuk mengetahui keterkaitan antara variabel tutupan lahan, curah hujan, kemiringan lereng, dan kerapatan vegetasi terhadap *sensitivity indeks* lingkungan menggunakan *Studio R*. Bobot yang digunakan berdasarkan hasil analisis PCA menggunakan nilai *Eigen*. Nilai *Eigen* adalah bentuk nilai yang memperlihatkan besaran pengaruh sebuah variable terhadap terbentuknya karakteristik (Delsen, dkk., 2017).

**Standarisasi data.** Proses untuk mengubah data sehingga memiliki mean (rata-rata) 0 dan deviasi standar 1. Ini dilakukan dengan mengurangi mean dari setiap nilai dan membaginya dengan deviasi standar (Nasution, 2019).

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (4)$$

Dimana, Z ialah nilai standard, x ialah data asli,  $\mu$  ialah mean variabel dan  $\sigma$  ialah standar deviasi.

**Menghitung matriks kovarians.** Matriks kovarians digunakan untuk mengukur besarnya hubungan antara dua faktor (Nasution et al., 2019).

$$Cov(x, y) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y) \quad (5)$$

Dengan,  $\mu_x$  dan  $\mu_y$  ialah rata-rata (mean) dari variabel x dan y, dimana variabel  $x_i$  dan  $y_i$  merupakan nilai observasi ke-i dari variabel x dan y.

**Menghitung nilai eigen value.** Nilai eigen ( $\lambda$ ) merupakan nilai skalar yang mendefinisikan matriks kovarians (Nasution, 2019). Hasil dari nilai eigen merupakan suatu nilai yang menunjukkan seberapa besar pengaruh dari suatu variabel terhadap pembentukan karakteristik yang dinotasikan dengan  $\lambda$  dan susunan hasil nilai eigen selalu dimulai dari nilai yang terbesar (Enzellina & Suhaedi, 2022).

```

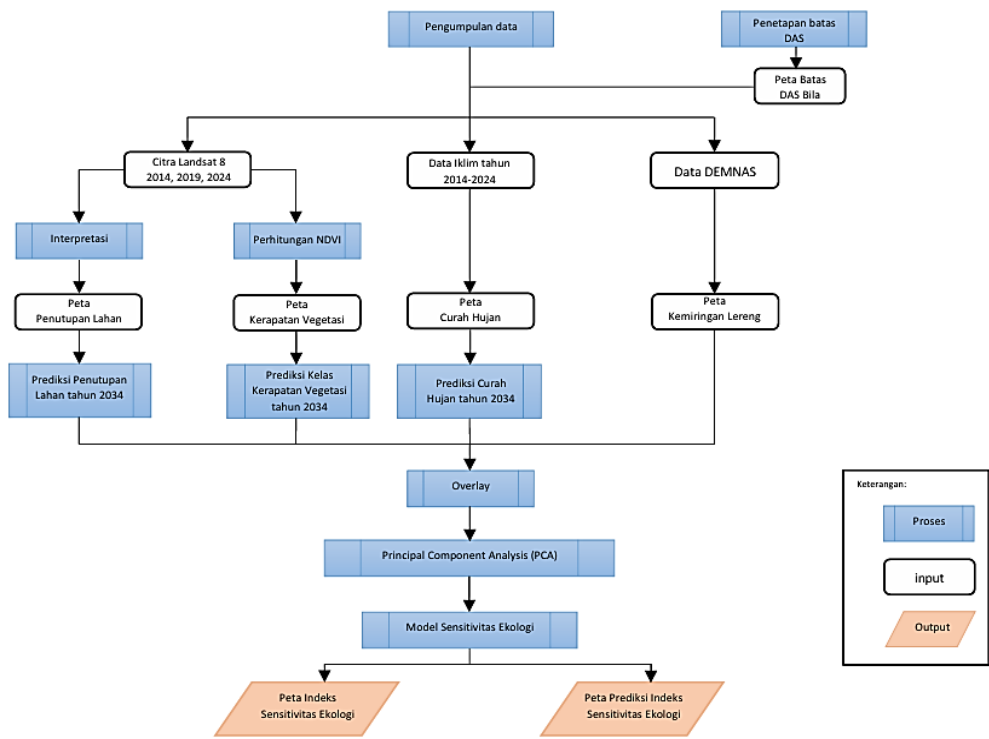
1 #Import Data
2 library(readxl)
3 data = read_excel("E:/KULIAH/otw S.hut/DATA/EXCEL/INPUT PCA/GABUNGAN 2.xlsx")
4 data
5
6 data[, -1] <- lapply(data[, -1], function(x) as.numeric(as.factor(x)))
7 data[, -1]
8
9 # Standarisasi data
10 data_std = scale(x=data[, -1])
11 data_std
12
13 # Matriks kovarians
14 data_cov = (data_std)
15 data_cov
16
17 # Eigen values
18 data_eigen = (data_cov)$values
19 data_eigen
20
21 # Fungsi Komponen Utama
22 pca_result <- prcomp(data, scale. = TRUE)
23 pca_result # Menghitung Koefisien Komponen Utama
24 summary(pca_result) # Penentuan Banyaknya Komponen
25
26 # Membentuk Scree Plot Data
27 scree_data = scree_data <- data.frame(eigen_value = pca_result$sdev^2, PC = 1:length(pca_result$sdev))
28 scree_data
29 # Plot data
30 library(readxl)
31 plot(x = scree_data$PC, y = scree_data$eigen_value, type = 'o',
32      xlab = 'Komponen Utama ke-',
33      ylab = 'Eigen value',
34      main = 'Grafik varian')
35

```

**Gambar 3.** Tampilan *script Principal Component Analysis* di software Rstudio

Nilai yang diamati harus lebih besar dari pada 0,5 untuk dianggap sebagai estimasi terbaik. Nilai tersebut juga akan menunjukkan seberapa besar pengaruh variable terhadap indeks. Apabila nilai tersebut mendekati angka 1.0 maka akan semakin berpengaruh kuat. Maka model indeks lingkungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 & (\text{Kemiringan Lereng} \times \text{Bobot Kemiringan Lereng}) + (\text{Kerapatan Vegetasi} \\
 & \times \text{Bobot Kerapatan Vegetasi}) + (\text{Curah Hujan} \times \text{Bobot Curah Hujan}) + \\
 & (\text{Tutupan Lahan} \times \text{Bobot Tutupan Lahan})
 \end{aligned} \tag{6}$$



**Gambar 4.** Diagram alir penelitian