

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah kumpulan ekosistem di mana setiap bagiannya saling bergantung (*interdependensi*) dan berinteraksi terus-menerus terhadap lingkungannya (Nurfaika, 2015). Ekosistem daerah aliran sungai (DAS) terdiri dari daerah hulu, tengah, dan hilir. Ketika di daerah hulu terjadi kegiatan yang mempengaruhi lanskap, seperti perubahan penutupan lahan, ini bukan hanya mempengaruhi daerah di mana kegiatan tersebut berlangsung, tetapi juga akan mempengaruhi daerah hilir (Suryanajaya et al., 2017). Aspek morfologi merupakan faktor alami yang tidak dapat diubah oleh manusia dan memainkan peran penting dalam ekosistem DAS (Denaswidhi, 2020). Morfologi pada dasarnya, akan mengacu pada karakteristik alam DAS seperti tanah, iklim, vegetasi, topografi dan faktor alam lainnya (*natural factor*), juga dipengaruhi oleh kegiatan manusia (*antropogenic factor*) (Ningkeula, 2015).

Morfologi daerah aliran sungai yang mencakup ciri fisik dan hidrologi, telah terbukti dapat menambah wawasan tentang kesehatan ekosistem, risiko, dan kapasitas penggunaan lahan yang berkelanjutan. Pengaruh faktor biofisik, seperti penutup lahan, kemiringan lereng, dan vegetasi, terhadap ketahanan ekologi telah difokuskan (Rijal et al., 2025). Karakteristik morfologi DAS adalah gambaran khusus yang digambarkan oleh parameter yang berkaitan dengan morfometri, topografi, tanah, geologi, vegetasi, penutupan lahan, hidrologi, dan manusia. Karakteristik fisik ini akan memberikan respon khusus DAS didukung dengan curah hujannya (Nurfaika, 2015).

Sensitivitas didefinisikan sebagai proses yang bertujuan untuk menilai seberapa baik model merespon terhadap perubahan. Kepekaan atau sensitivitas terhadap lingkungan merupakan integrasi dari faktor-faktor kepekaan, yang didasarkan pada pemahaman hubungan antara pola, perilaku, serta karakter fisik dan biologi (Utantyo et al., 2003). Secara teknis, analisis sensitivitas digunakan dalam mengidentifikasi variabel utama dengan menggunakan berbagai kondisi komponen dan parameter model. Namun, ada kombinasi antara sensitivitas dan analisis yang bertujuan untuk lebih memahami pengaruh dan perubahan model (Feizizadeha & Blaschkea, 2014). Sensitivitas ekologi mengacu pada seberapa baik suatu ekosistem dapat beradaptasi terhadap perubahan dan gangguan yang disebabkan oleh lingkungan atau aktivitas manusia, dengan asumsi bahwa kualitas lingkungan ekologi tersebut tidak rusak dan dapat bertahan. Evaluasi sensitivitas ekologi telah banyak digunakan dalam perencanaan dan pengelolaan berbasis lanskap (Xu et al., 2023).

Bertambahnya populasi dan banyaknya aktivitas manusia menjadi salah satu faktor yang dapat memicu terjadinya perubahan lingkungan. Melalui berbagai kegiatan seperti penggundulan hutan, urbanisasi, dan perubahan penutupan lahan,

dapat mengganggu sistem drainase alami dan memperparah kerentanan suatu wilayah terhadap akumulasi air yang cepat sehingga menyebabkan banyak terjadinya risiko bencana. Aktivitas ini memberikan pengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap kemungkinan terjadinya perubahan lingkungan (Hoang & Liou, 2024). Bertambahnya kebutuhan manusia seiring berjalannya waktu akan sejalan dengan semakin meningkatnya perubahan lahan baik untuk kebutuhan tempat tinggal, infrastruktur maupun kebutuhan sarana dan prasarana. Hal ini tentunya akan mempengaruhi ekosistem terkhusus tanah dan air. Daerah Aliran Sungai Maros merupakan salah satu wilayah di Sulawesi Selatan yang sering terjadi perubahan lingkungan. Kawasan daerah aliran sungai Maros mengalami peningkatan alih fungsi lahan non-terbangun menjadi lahan terbangun, yang berpotensi menyebabkan gangguan ekologis dan hidrologis yang berdampak pada lingkungan karena lahan resapan air berkurang dan menyebabkan morfologinya berubah (Latief et al., 2021). Memetakan sensitivitas ekologi akan membantu dalam menganalisis masalah lingkungan yang terjadi seperti risiko longsor atau erosi dan bagaimana keterkaitannya terhadap lanskap. Untuk mengevaluasi sensitivitas ekologi, beberapa faktor geografis dan lingkungan akan dipilih berdasarkan metode GIS (Xu et al., 2023).

Mendukung pemodelan sensitivitas ekologi maka, uji validasi adalah salah satu hal yang perlu dilakukan, kemudian hasil penelitian akan dihubungkan dengan kebijakan untuk melihat validasi sensitivitas pada Daerah Aliran Sungai Maros. Uji validasi membantu dalam menentukan seberapa konsisten hasil analisis dengan kondisi yang ada di lapangan (Ardiansyah et al., 2021). Validasi adalah salah satu bentuk melindungi suatu ekosistem dengan kualitas analisis dalam bentuk angka. Metode analisis validasi merupakan penilaian mengenai parameter tertentu, yang didasarkan pada uji pemodelan, untuk menunjukkan bahwa parameter tersebut memenuhi syarat untuk dapat digunakan (Harmono, 2020).

Uji validasi adalah langkah dalam memastikan bahwa data berada dalam urutan waktu guna menemukan kebenaran dan kesalahan dalam data (Windatiningsih, 2019). Pengujian validasi pemodelan sensitivitas ekologi akan berfokus pada dua aspek yaitu validasi secara statistik dan validasi secara model (lapangan) untuk melihat kevalidan data pemodelan, maka yang selanjutnya dapat dilakukan adalah penilaian terhadap indeks kerentanannya. Menguji validasi akan menunjukkan kesesuaian data indeks sensitivitas ekologi dengan kondisi lapangan dan melihat faktor secara biofisik yang terjadi. Oleh karena itu uji validasi merupakan bagian penting dalam melihat kesesuaian sensitivitas ekologi. Selain itu pengujian validasi di DAS Maros akan membantu melihat tingkat kerentanan yang terjadi dan menjadi acuan dalam pengelolaan DAS dan mitigasi bencana kedepannya.

Daerah Aliran Sungai Maros merupakan salah satu wilayah penting yang memiliki karakteristik morfologi lanskap yang kompleks dan beragam. DAS Maros mencakup bentang alam mulai dari dataran rendah, daerah karst, hingga perbukitan dengan kemiringan lereng yang bervariasi, yang dilintasi oleh jaringan sungai yang padat. Wilayah ini mengalami tekanan ekologi yang cukup tinggi akibat banyaknya aktivitas manusia seperti alih fungsi lahan, urbanisasi, dan kegiatan pertanian

intensif, yang berkontribusi terhadap perubahan tutupan lahan dan berkurangnya kepadatan vegetasi alami. Ditambah lagi, dengan curah hujan yang cukup tinggi sepanjang tahun, DAS Maros menjadi sangat rentan terhadap bencana lingkungan, terutama di musim hujan. Dalam konteks penelitian ini, identifikasi morfologi lanskap di DAS Maros menjadi sangat krusial untuk memahami lanskap maupun ekosistem yang mempengaruhi proses hidrologi, sedangkan pengujian validasi terhadap Indeks Sensitivitas Ekologi akan membantu dalam menilai tingkat kerentanan kawasan ini terhadap bencana dan perubahan lingkungan yang terjadi. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh pemetaan wilayah-wilayah prioritas yang membutuhkan upaya mitigasi dan pengelolaan lingkungan yang lebih adaptif.

1.2 Tujuan dan Kegunaan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membangun model indeks sensitivitas ekologi di Daerah Aliran Sungai Maros.
2. Melakukan pengujian validasi pemodelan indeks sensitivitas ekologi di Daerah Aliran Sungai Maros.

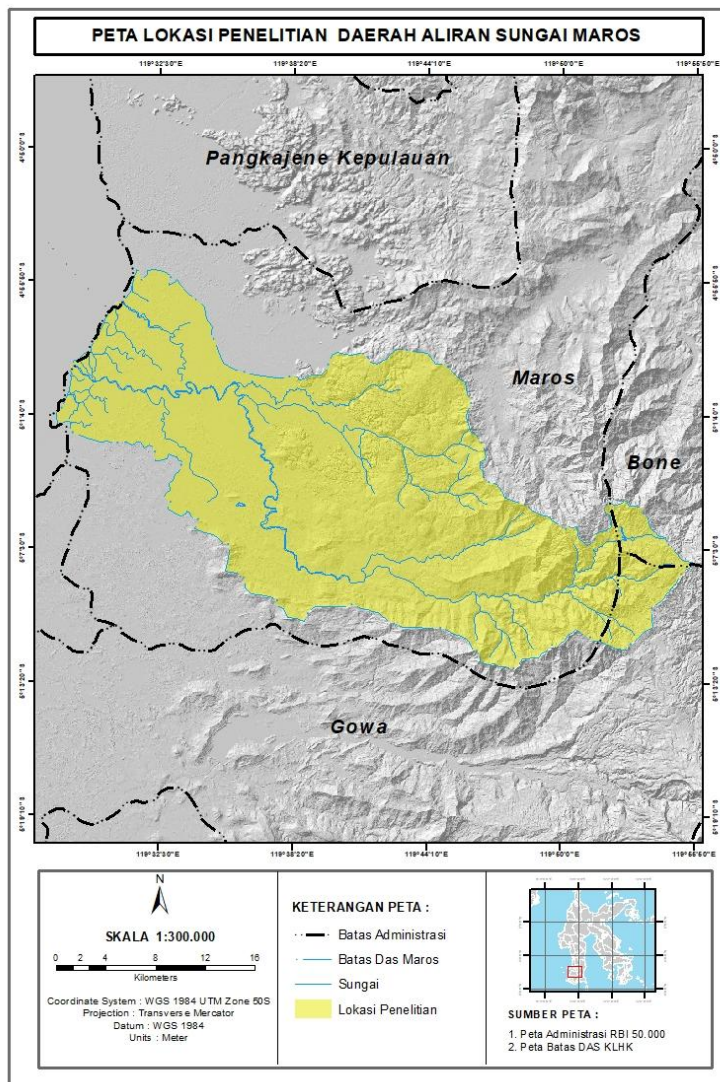
Penelitian bermanfaat baik secara teori maupun praktik khususnya dalam pengelolaan lingkungan di Daerah Aliran Sungai Maros. Dengan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi sensitivitas ekologi, penelitian ini memberikan pemahaman ilmiah tentang keterkaitan antara karakteristik morfologi lanskap dan risiko bencana. Pemodelan indeks sensitivitas ekologi memberikan analisis yang menyeluruh dan berbasis data dalam memetakan tingkat kerentanan di DAS Maros, sehingga dapat menjadi acuan dalam perencanaan konservasi dan tata kelola ruang yang lebih adaptif terhadap perubahan lingkungan. Selain itu, pengujian validasi terhadap model yang dikembangkan akan memastikan akurasi dan kesesuaian model, yang diharapkan dapat mendukung upaya mitigasi bencana, dan membantu pengambilan keputusan terkait pengelolaan DAS secara berkelanjutan.

BAB II

METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan mulai dari Bulan Mei - Oktober 2025 dengan melalui dua tahapan kegiatan, yaitu pengumpulan dan analisis data dilakukan di Laboratorium Perencanaan dan Sistem Informasi Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin. Sedangkan, kegiatan lapangan dilaksanakan di lokasi penelitian yakni Daerah Aliran Sungai Maros, Kabupaten Maros. Peta Lokasi penelitian DAS Maros dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2 **Alat dan Bahan**

2.2.1 **Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini seperti sebagai berikut:

- 1. Laptop, sebagai alat untuk menjalankan program atau aplikasi.
- 2. *Receiver GPS* atau *Avenza Maps*, sebagai alat untuk mencari dan mengambil titik di lapangan.
- 3. *Handphone*, sebagai alat untuk dokumentasi.
- 4. Perangkat lunak *ArcGis* 10.8 digunakan untuk mengolah dan menganalisis hasil identifikasi serta visualisasi data.
- 5. Perangkat lunak *Q.Gis* 3.32, digunakan untuk mengolah dan menganalisis data.
- 6. *Microsoft Office*, digunakan untuk mengolah data hasil analisis spasial dan pembuatan laporan.
- 7. *R. Studio*, digunakan untuk mengolah dan menganalisis hasil identifikasi data.
- 8. *SPSS Statistics* 22, digunakan untuk mengolah dan menganalisis data.
- 9. Alat tulis menulis, digunakan untuk mencatat hasil pengamatan dilapangan.

2.2.2 **Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Bahan yang digunakan dalam proses penelitian

Bahan	Kegunaan	Sumber
Peta Batas DAS	Sebagai lokasi penelitian	Direktorat Jenderal Pengendalian Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung Badan Informasi Geospasial-BIG
Data DEM Nasional	Sebagai bahan dalam pembuatan peta kemiringan lereng	https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/
Citra Landsat 8 OLI	Sebagai bahan analisis untuk penutupan lahan	<i>Earth Explorer</i> - USGS https://earthexplorer.usgs.gov/
Citra Landsat 8	Sebagai bahan analisis <i>Normalize Difference Vegetation Index</i> (NDVI)	Diakses melalui Platform Google Earth Engine (GEE) https://earthengine.google.com/
Data Iklim tahun 2015-2024	Sebagai bahan analisis untuk menghasilkan data curah hujan	Diakses melalui Platform CHRS Data Portal https://chrdata.eng.uci.edu/
Data InaRisk BNPB	Sebagai bahan untuk analisis indeks bahaya longsor	Diakses melalui Platform Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) https://inarisk.bnpb.go.id/

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 di lapangan. Selanjutnya, data sekunder merupakan pengambilan informasi dengan studi literatur.

2.3.1 Penentuan Lokasi Penelitian

Penentuan lokasi penelitian dilakukan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Maros yang berada di Kabupaten Maros. Penetapan lokasi penelitian ini didasari oleh Peta Batas DAS tahun 2018 yang diperoleh dari Direktorat Jenderal Pengendalian Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung.

2.3.2 Pengumpulan Data

Penutupan Lahan. Data tutupan lahan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Maros diperoleh melalui interpretasi citra satelit Landsat 8 OLI yang diunduh dari situs resmi USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Proses interpretasi dilakukan dengan metode digitasi *on screen* menggunakan perangkat lunak *ArcGIS*. Dalam tahap ini, identifikasi objek pada citra dilakukan dengan memperhatikan unsur-unsur interpretasi citra seperti rona/warna, bentuk, ukuran, dan pola. Proses interpretasi juga mengacu pada Petunjuk Teknis Penafsiran Citra Satelit Resolusi Sedang untuk pembaruan data penutupan lahan nasional. Setelah melalui proses pendetailan, diperoleh informasi tutupan lahan terbaru yang merepresentasikan kondisi aktual DAS Maros.

Curah hujan. Data curah hujan dalam penelitian ini dikumpulkan berdasarkan data klimatologi dari tahun 2015 hingga 2024 yang bersumber pada platform *CHRS (Center for Hydrometeorology and Remote Sensing)*. Data tersebut digunakan untuk mengetahui distribusi spasial dan temporal curah hujan pada wilayah DAS Maros. Pengolahan dilakukan dengan menentukan titik stasiun terlebih dahulu dengan bersumber dari satelit MERRA dengan DAS Maros sebagai acuan dalam penetapan titik stasiun. Kemudian dilakukan pengunduhan data curah hujan pada website <https://chrsdata.eng.uci.edu/>. Mengatur dataset sebagai *PERSIAN-CCS*, *time step* sebagai *daily* dan format CSV. Kemudian dengan memanfaatkan *Microsoft Excel* dilakukan pengolahan data curah hujan pada setiap stasiun yang telah ditetapkan. Selanjutnya masing-masing hasil curah hujan pada setiap stasiun akan ditambahkan dalam *ArcGis 10.8* dengan melakukan *interpolation* menggunakan IDW untuk memperoleh pembagian data curah hujan. Hasil ini yang kemudian akan di *reclassify* menjadi lima kelas sesuai dengan kelas data curah hujan sehingga hasil akhir akan diperoleh peta dan data curah hujan DAS Maros selama sepuluh tahun.

Kerapatan vegetasi. Menghitung nilai kerapatan vegetasi menggunakan nilai kehijauan hasil fotosintesis yang biasa disebut *Normalize Difference Vegetation Index (NDVI)*. Menurut (Innadya et al., 2022) nilai NDVI berkisar antara -1 dan 1, nilai yang lebih tinggi menunjukkan bahwa vegetasi lebih rata. Hasil dari

transformasi NDVI ini yaitu citra distribusi indeks NDVI. Data kerapatan vegetasi pada DAS Maros diperoleh melalui perhitungan NDVI menggunakan platform *Google Earth Engine* (GEE). NDVI dihitung berdasarkan rasio antara nilai pantulan band merah (Red) dan infra-merah dekat (Near Infrared/NIR) pada citra satelit, umumnya dari Landsat 8 OLI. Perbedaan spektral antara kedua band ini dimanfaatkan untuk membedakan tingkat kehijauan atau kerapatan vegetasi.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

Keterangan:

NIR = Nilai reflektan band infra merah

R = Nilai reflektan band merah

```
Map.addLayer (Das_Maros)
// NDVI L8 Collection 2 Tier 1 MODified By TIM UH-BID 1 SUMA
Map.centerObject(Das_Maros,10);
//cloud mask
function maskL8sr(col) {
  // Bits 3 and 5 are cloud shadow and cloud, respectively.
  var cloudShadowBitMask = (1 << 3);
  var cloudsBitMask = (1 << 5);
  // Get the pixel QA band.
  var qa = col.select('QA_PIXEL');
  // Both flags should be set to zero, indicating clear conditions.
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudShadowBitMask).eq(0)
    .and(qa.bitwiseAnd(cloudsBitMask).eq(0));
  return col.updateMask(mask);
}
// Applies scaling factors.
function applyScaleFactors(image) {
  var opticalBands =
    image.select('SR_B.').multiply(0.0000275).add(-0.2);
  var thermalBands =
    image.select('ST_B.*').multiply(0.00341802).add(149.0);
  return image.addBands(opticalBands, null, true)
    .addBands(thermalBands, null, true);}

var vizParams = {
  bands: ['SR_B4', 'SR_B3', 'SR_B2'],
  min: 0,
  max: 0.3,
  gamma: 1.4,
```

```

};
//Memasukkan Data Citra
var col = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C02/T1_L2")
.map(maskL8sr).map(applyScaleFactors)
.filterDate('2015-01-01','2015-12-31')
.filterBounds(Das_Maros)
.map(function(image){return image.clip(Das_Maros)});
print('collecion',col)
//Reduksi Image
var image = col.median();
print('image', image);
Map.addLayer(image, vizParams, 'Citra');
//PerhitunganNDVI
var ndvi1 = image.normalizedDifference(['SR_B5',
'SR_B4']).rename('NDVI'); //menggunakan API normalizedDifference
var ndviParams = {min: -1, max: 1, palette: ['blue', 'white',
'green']};
Map.addLayer(ndvi1, ndviParams, 'NDVI');
// Map.addLayer(geometry)
Export.image.toDrive({
  image: ndvi1,
  description:'NDVI_DAS MAROS',
  scale:30,
  maxPixels:600000000,
  region:Das_Maros
});

```

Gambar 2. *Script Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*

Kemiringan lereng. Data kemiringan lereng diperoleh dari data Digital *Elevation Model* Nasional (DEMNAS) yang diunduh melalui laman resmi Badan Informasi Geospasial (BIG) <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/demnas>. Selanjutnya, dilakukan analisis menggunakan perangkat lunak *ArcGis* melalui tahapan *Raster Surface Analysis* untuk menghasilkan peta kemiringan. Data hasil analisis kemudian diproses dengan fungsi *Reclassify* untuk mengelompokkan tingkat kemiringan ke dalam beberapa kelas. Setelah itu, data raster dikonversi ke dalam bentuk poligon untuk memudahkan analisis spasial lebih lanjut. Data ini digunakan untuk mengetahui distribusi kelas kemiringan lereng pada wilayah DAS Maros.

2.4 Analisis Data *Principal Component Analysis* (PCA)

Dalam analisis indeks sensitivitas, data yang telah di kumpulan berupa parameter-parameter akan diidentifikasi menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA) dengan memanfaatkan metode *overlay* yang akan membantu dalam menganalisis kerentanan pada wilayah DAS Maros. PCA secara sederhana akan

membagi kumpulan variabel utama menjadi kumpulan variabel baru yang lebih kecil dan tidak berkorelasi yang dapat digunakan sebagai representasi dari kumpulan data variabel utama. PCA digunakan untuk menggabungkan beberapa variabel baru yang merupakan kombinasi linier dari variabel asal yang saling bebas (Wijaya et al., 2023). Xu et al., (2023) mendeskripsikan bahwa sensitivitas dikategorikan menjadi tidak sensitif, sensitivitas rendah, sensitivitas sedang, sensitivitas tinggi dan sensitivitas eksstrem dengan ciri-ciri masing-masing faktor evaluasi sensitivitas. Skor untuk standarisasi numerik berkisar dari rendah hingga tinggi.

Tabel 2. Klasifikasi penutupan lahan

Tip e Penutupan Lahan	Skor
Bandara/Lahan terbuka	1
Permukiman	2
Pertanian Lahan Kering/Semak Belukar/Sawah	3
Hutan lahan kering primer/Hutan lahan kering sekunder	4
Tubuh Air	5

Pemberian skor yang diberikan pada penutupan lahan terhadap sensitivitas didasarkan pada faktor aktivitas manusia. Semakin rendah nilai perlindungan ekologi dan sensitivitas suatu penutupan lahan, maka semakin rendah skornya. Hutan memiliki sensitivitas ekologi yang lebih tinggi daripada lahan terbangun ((Xu et al., 2023).

Tabel 3. Klasifikasi curah hujan dan skor curah hujan

Kelas	Curah Hujan	Skor
Sangat rendah	0-1.000 mm/tahun	1
Rendah	1.000-2.000 mm/tahun	2
Sedang	2.000-3.000 mm/tahun	3
Tinggi	3.000-4.000 mm	4
Sangat tinggi	>4.000 mm	5

Variabel curah hujan merupakan salah satu variabel dalam mendukung analisis indeks sensitivitas ekologi. Sebaran curah hujan dikategorikan menjadi lima kelas curah hujan (Setiawan et al., 2021). Curah hujan akan sangat berpengaruh dalam meningkatkan analisis indeks sensitivitas (He et al., 2024a). Ini karena curah hujan yang berlebihan dapat meningkatkan risiko, terutama di tanah yang miring atau tidak tertutupi oleh vegetasi yang rapat sangat rawan terhadap risiko longsor.

Tabel 4. Klasifikasi kerapatan vegetasi dan skor kerapatan vegetasi

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

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) menggambarkan tingkat kehijauan suatu tanaman ini menjadi dasar dalam menganalisis vegetasi pada suatu

wilayah dalam bentuk nilai (Hardianto et al., 2021). Semakin tinggi nilai NDVI, semakin sensitif vegetasi tersebut (Xu et al., 2023). Vegetasi yang lebih rapat bertindak sebagai filter alami, mengurangi erosi tanah, dan meningkatkan kualitas tanah.

Tabel 5. Klasifikasi kemiringan lereng dan skor kemiringan lereng

Kemiringan Lereng	Skor
0-8%	1
8-15%	2
15-25%	3
25-45%	4
>45%	5

Kemiringan lereng merupakan sudut yang terbentuk pada ketinggian yang dinyatakan dalam bentuk persen atau derajat (Dengen et al., 2019) Kemiringan lereng menjadi salah satu risiko longsor dan erosi. Skor diberikan berdasarkan kemiringan lereng yang datar hingga curam, semakin curam suatu lereng maka akan semakin tinggi skornya. Dalam analisis sensitivitas, daerah dengan kemiringan lereng yang curam memiliki risiko kerentanan yang tinggi.

Principal Component Analysis. Selanjutnya, analisis dilakukan dengan uji *Principal Component Analysis* (PCA). Nilai bobot masing-masing variabel dihitung dengan menggunakan nilai *Eigen*, yaitu bentuk nilai yang menunjukkan besarnya pengaruh sebuah variabel terhadap terbentuknya karakteristik untuk membangun model.

Standarisasi data. Pengubahan data sehingga data dinyatakan dalam bentuk standar, yaitu dengan menghitung *mean* dan standar deviasi dari setiap variabel (Nasution, 2019).

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \tag{2}$$

Dimana, Z adalah data yang telah di standarisasi, X adalah data asli, μ adalah *mean*, dan σ adalah standar deviasi.

Menghitung matriks kovarians. Matriks kovarians ialah nilai-nilai kovariansi tiap cell dalam matriks kovarian diperoleh dari sampel. Untuk memastikan bahwa ada penyimpangan data dalam set data sampel, variabel dihitung untuk penyebaran data (Asmarianti et al., 2022).

$$\text{Cov}(X) = \frac{1}{n - 1} (X^T X) \tag{3}$$

Dimana, X adalah data asli, dan n adalah jumlah observasi.

Menghitung eigen value dan eigen vector. Eigen value, yang berarti bahwa setiap variabel yang memiliki eigen value lebih besar dari 1 dapat dianggap sebagai variabel lain (Rijal et al., 2025). Eigen value akan membantu mengukur

variasi yang dijelaskan oleh setiap komponen utama, sedangkan eigen vector akan menunjukkan arah dari komponen tersebut (Enzellina & Suhaedi, 2022).

$$| \text{Cov}(\mathbf{X}) - \lambda \mathbf{v} | = 0 \quad (4)$$

Dimana, λ adalah *eigen value*, dan $\mathbf{v}$ adalah *eigen vektor*.

Dengan menggunakan *software* R Studio, analisis komponen utama (PCA) dilakukan untuk mengidentifikasi hubungan antara variabel kerapatan vegetasi, kemiringan lereng, curah hujan dan penutupan lahan. Sebelum ini, setiap variabel harus memiliki rentang nilai yang sama. Nilai yang diamati harus lebih besar dari 0,5 untuk dianggap sebagai perkiraan terbaik. Nilai ini juga akan menunjukkan seberapa besar pengaruh variabel terhadap indeks, nilai yang mendekati 1.0 menunjukkan pengaruh yang lebih besar dari variabel terhadap indeks (Oktapiana et al., 2017). Maka model indeks sensitivitas sebagai berikut :

$$\begin{aligned} & (\text{Kemiringan Lereng} \times \text{Bobot Kemiringan Lereng}) + (\text{Kerapatan Vegetasi} \\ & \times \text{Bobot Kerapatan Vegetasi}) + (\text{Curah Hujan} \times \text{Bobot Curah Hujan}) + \\ & (\text{Tutupan Lahan} \times \text{Bobot Tutupan Lahan}) \end{aligned} \quad (5)$$

```
#Import Data
library(readxl)
data = read_excel("E:/SKRIPSI/04. Data Makro/Analisis PCA/Excel/2024/Data
PCA.xlsx")
data
# Standarisasi Data
data_std = scale(x=data)
data_std

# Matriks kovarians
data_cov = (data_std)
data_cov

# Eigen Value dan Eigen Vector
cov_matrix <- cov(data_cov)
cov_matrix
data_eigen <- eigen(cov_matrix)
data_eigen
# Fungsi Komponen Utama
pca_result <- prcomp(data, scale. = TRUE)
pca_result
summary(pca_result)
eigenvalues <- (pca_result$sdev)^2
eigenvalues
```

Gambar 3. Tampilan *script Principal Component Analysis* di *software R studio*

2.5. Pengujian Validasi

Validasi model indeks sensitivitas akan dilakukan dengan dua cara yaitu validasi *statistic* dan validasi spasial. Kedua analisis ini akan membantu dalam memberikan hasil validasi sensitivitas ekologi yang signifikan kedepannya.

2.5.1 Analisis Korelasi

Analisis korelasi adalah teknik statistika untuk mengukur keeratan hubungan antara dua variabel. Variabel sendiri didefinisikan sebagai data dari subjek yang diteliti (Sidoarjo et al., 2017). Korelasi dilakukan dengan indeks yang ada, yaitu membandingkan hasil dengan indeks yang ditetapkan, dilakukan dengan analisis data indeks sensitivitas dan data indeks bahaya longsor yang di ambil dari data BNPB InaRisk.

Penggunaan dua data yaitu indeks sensitivitas ekologi dan indeks bahaya longsor dilakukan karena merupakan Indeks yang dianalisis berdasarkan faktor biofisiknya, yaitu kemiringan lereng, penutupan lahan, kerapatan vegetasi dan curah hujan. Pada wilayah dengan kemiringan lereng yang sangat curam di dukung dengan vegetasi rapat menunjukkan kelas sensitivitas lebih tinggi, dan hal ini sejalan dengan kondisi pada indeks bahaya longsor di mana area dengan lereng curam lebih sering terjadi risiko longsor. Selain itu kedua indeks merupakan data dalam bentuk ordinal atau berperingkat sehingga lebih mudah di korelasikan walaupun kedua data ini masih belum kuat secara statistik.

Uji korelasi yang digunakan adalah uji korelasi *Spearman*. Korelasi *Spearman* adalah metode statistik yang digunakan untuk memahami keterkaitan antara dua atau lebih variabel yang berskala ordinal. Koefisien korelasi *Spearman* merupakan statistik yang tidak bergantung pada asumsi parametrik, karena data yang diperoleh tidak terdistribusi secara normal. Simbol dari koefisien korelasi ini adalah r (rho). Manfaat dari korelasi *Spearman* adalah bahwa analisis yang didasarkan pada peringkat lebih sederhana untuk dihitung dibandingkan dengan analisis angka, dan juga bisa digunakan untuk mengukur hubungan non-linear (Nurhalijah et al., 2024). Adapun tabel derajat hubungan korelasi *perason* dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Derajat Hubungan Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0 – 0,3	Korelasi lemah
0,3 – 0,7	Korelasi sedang
0,7 - 1	Korelasi kuat

Dimana arah korelasi : (a) Positif: Ketika satu variabel meningkat, yang lain meningkat. (b) Negatif: Ketika satu variabel meningkat, yang lain menurun.

2.5.2 Validasi Silang Spasial

Validasi spasial melalui validasi silang area (*k-fold*) yaitu membagi DAS menjadi wilayah, *training* area pada 80%, uji pada 20% untuk menilai akurasi prediktif. Ketika

jumlah data sampel yang tersedia terbatas dan pengumpulan set pengujian tambahan tidak mungkin, validasi silang digunakan untuk menilai model secara geospasial. Meskipun demikian, lokasi prediksi dapat sangat berbeda dari sampel yang tersedia, ini dapat terjadi karena data prediksi dievaluasi berdasar pada latihan (Wang et al., 2023). Tujuan validasi silang spasial adalah memastikan bahwa model divalidasi pada data spasial bersifat independen, serta mengurangi *overfitting* yaitu mengurangi kemungkinan model menghafal pola spasial dalam data pelatihan serta mengukur seberapa baik kinerja model di area spasial baru.

Dalam penelitian ini, data yang digunakan adalah data indeks sensitivitas ekologi dan data indeks bahaya longsor. Validasi silang spasial dilakukan dengan terlebih dahulu mengubah data raster menjadi data vektor ini akan memudahkan dalam penentuan titik *testing* dan titik *training*. Selanjutnya, data vektor akan dibuat titik sampel dengan metode *create random points* untuk memperoleh keterwakilan distribusi data di wilayah kajian. Titik-titik dari kedua indeks kemudian digabungkan melalui proses *spatial join*, sehingga setiap titik memiliki informasi atribut dari kedua data yang. Dalam keperluan validasi, dataset sampel tersebut dibagi menjadi dua bagian, yaitu 80 titik sebagai data *training* dan 20 titik sebagai data *testing*. Pembagian ini memungkinkan model diuji secara objektif, di mana data *training* digunakan untuk membangun dan menyesuaikan model, sedangkan data *testing* digunakan untuk memprediksi di wilayah lain yang tidak digunakan pada saat *training*.

Selanjutnya, hasil dari proses validasi silang spasial dianalisis dengan menggunakan matriks kesalahan (*Confusion matrix*) untuk membandingkan kesesuaian antara data hasil pemodelan dan data indeks longsor. *Kappa accuracy* dipilih karena mampu menunjukkan tingkat kesepakatan antara hasil model dan data referensi dengan mempertimbangkan peluang kesesuaian yang terjadi secara acak.

2.5.3 Pengecekan dan pengambilan data di lapangan

Pengecekan dan pengambilan data di lapangan adalah salah satu proses yang harus dilakukan untuk memvalidasi hasil klasifikasi indeks sensitivitas yang telah diperoleh dari hasil analisis berbasis SIG dengan metode *ground check* atau *ground truth*. Pengecekan dan pengambilan data akan membantu memperoleh dan membandingkan data di lapangan dengan hasil analisis yang telah ada. Sebelum melakukan pengecekan lapangan, kegiatan penentuan *sampling* perlu dilakukan terlebih dahulu untuk memudahkan kegiatan pengambilan data.

Metode *sampling* yang digunakan dengan memanfaatkan rumus slovin dengan batas Tingkat toleransi kesalahan atau *Margin of Error* ialah 15%. Rumus slovin merupakan rumus yang membantu dalam menemukan besar sampel yang dapat diukur dan dapat menggambarkan populasi secara keseluruhan (Wulandari & Wahyudi, 2022). Dengan menggunakan rumus slovin, akan membantu dalam menghindari pengambilan sampel yang terlalu kecil atau terlalu besar dari populasi yang diteliti, dengan menggunakan rumus slovin di dapatkan sebanyak 44 titik groundcheck. Tingkat kesalahan (e) menunjukkan seberapa besar kesalahan

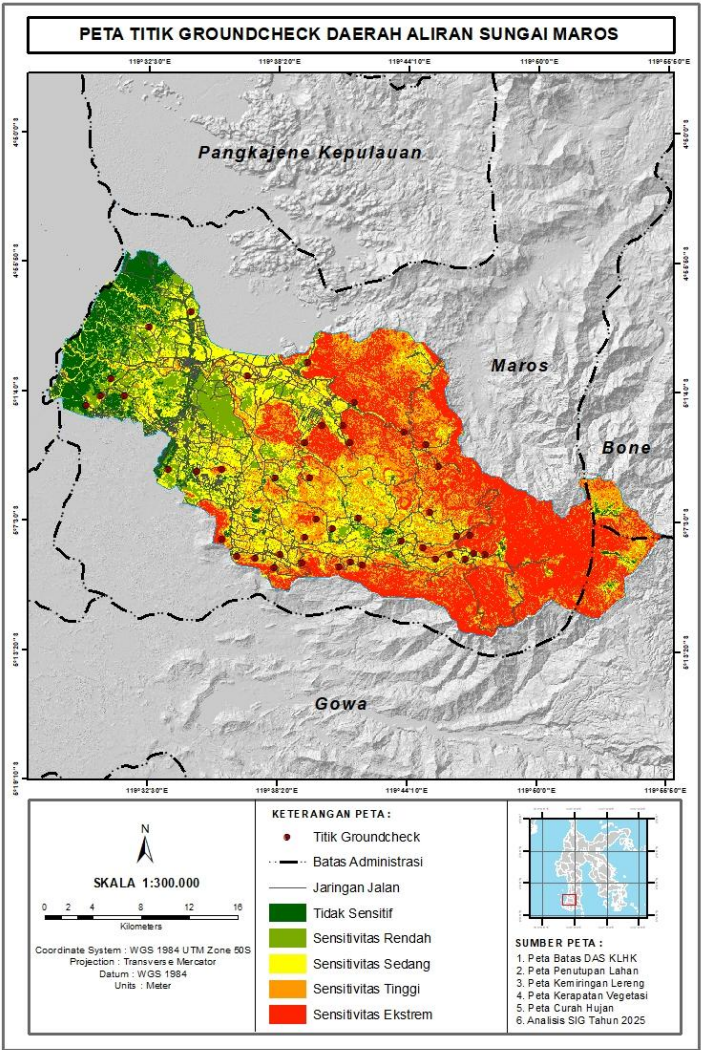
statistik dapat terjadi dalam penelitian (Adrian Fadel, 2024). Adapun rumus slovin ialah sebagai berikut:

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

(6)

Keterangan

- n = Jumlah Sampel
- N = Jumlah Luas Tiap Kelas
- e = Batas Toleransi Kesalahan (*Margin of Error*)



Gambar 2. Peta titik Groundcheck

Uji Akurasi. Menilai keakuratan hasil indeks sensitivitas maka perlu di lakukan uji akurasi. Uji akurasi adalah mengukur tingkat kesalahan dalam klasifikasi *area* penelitian untuk menghitung besarnya persentase ketelitian. Pengujian ini juga mengevaluasi tingkat keakuratan visual dari klasifikasi terbimbing (Muhammad et al., 2016). Uji akurasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji akurasi kappa dengan bantuan matriks kesalahan (*confusion matrix*). Uji akurasi kappa membandingkan hasil klasifikasi multispektral pada gambar dengan fakta di lapangan. Langkah penting dalam memvalidasi model kerentanan adalah *ground check*, yang melibatkan perbandingan prediksi model dengan temuan lapangan yang nyata. Proses ini memastikan bahwa model secara akurat mewakili data kerentanan yang sudah dianalisis.

Dalam menentukan persentase ketelitian, evaluasi akurasi yang digunakan akan mengukur tingkat kesalahan yang terjadi pada model. Evaluasi ini memberikan nilai keakuratan visual dari klasifikasi terbimbing (Muhammad et al., 2016). Penelitian secara keseluruhan akan menggunakan *overall accuracy* dengan bantuan matriks kesalahan, juga dikenal sebagai *confusion matrix*. Dengan matriks ini akan menilai uji akurasi kappa dan membandingkan hasil klasifikasi multispektral pada gambar dengan fakta di lapangan. Menurut Wulansari, (2017) setelah matriks kesalahan disusun, perhitungan akurasi kappa dapat dilakukan. Pada *confusion matrix*, data hasil sensitivitas dan data hasil pengecekan lapangan disusun dalam sebuah tabel perbandingan persentase.

Tabel 7. Confusion matrix

		Indeks Sensitivitas			Total baris	Producer's accuracy
		A	B	C		
Data lapangan	A				Xi+	X/Xi+
	B	X				
	C		X			
				X		
Total		X+1			N	

Setelah data tabel matriks kesalahan dikumpulkan, pengujian akurasi akan dilakukan menggunakan perhitungan akurasi kappa. Jensen (2005) menemukan bahwa pada penelitian yang dilakukan perhitungan secara garis besar akurasi kappa disajikan sebagai berikut :

$$K = \frac{N \sum X - \sum Xi + i}{N^2 \sum Xi + X + i} 100\% \tag{7}$$

Keterangan :

K	= Nilai kappa
X_i	= Nilai diagonal dari matriks 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

2.5.4 Validasi *Stakeholder*

Validasi *Stakeholder* atau pemangku kepentingan yaitu kelompok atau suatu individu yang di antara salah satunya ada yang mempengaruhi dan dipengaruhi oleh suatu model indeks yang akan berdampak dan memberikan suatu saran untuk mendapatkan manfaat dari model indeks yang di hasilkan (Chandra et al., 2011). Pemangku kepentingan merupakan sumber yang memiliki pengetahuan terkait model yang dibuat untuk menguatkan analisis model indeks kerentanan.

Keterlibatan pemangku kepentingan akan menjadi bagian dalam perencanaan dan pengembangan berkelanjutan model kerentanan. Pemangku kepentingan termasuk pemerintahan, masyarakat lokal, dan pengelola lahan memainkan peran penting dalam menganalisis model (Difta Yasah et al., 2024). Pemangku kepentingan akan memastikan bahwa model yang dibuat tidak hanya kuat secara ilmiah tetapi juga relevan, bermanfaat, dan dapat diterima oleh mereka yang akan terpengaruh oleh kerentanan DAS Maros.

Pemilihan responden. Dalam pemilihan responden akan melihat terlebih dahulu terkait latar belakang pekerjaan responden kemudian akan mempertimbangkan terkait seberapa lama responden telah menetap pada lokasi penelitian untuk bagian masyarakat lokal dan untuk bagian pemerintahan akan memperhatikan bagian wilayah kerja yang termasuk dalam area penelitian. Responden ini juga harus memahami terkait DAS Maros sehingga memberikan pernyataan yang valid. Responden akan terbagi dalam beberapa wilayah di DAS Maros untuk mewakili area penelitian.

Mengetahui tinggi rendahnya nilai hasil pengukuran masing-masing maka digunakan lima interval dengan lima kategori yaitu sangat sesuai, sesuai, sedang, rendah dan tidak sesuai. Interval ini akan menjadi acuan dalam penilaian validasi stakeholder. Maka digunakan teknik analisis data dengan rentang skala dari jawaban responden untuk mengetahui tinggi rendahnya hasil pengukuran masing-masing indikator dengan menggunakan rumus rentang skala (Sugiyono, 2012).

$$Rs = \frac{m - n}{b} \quad (8)$$

Keterangan :

Rs	: Rentang Skala
m	: Skor tertinggi
n	: Skor terendah
b	: Jumlah kategori

Sehingga akan terbentuk tabel rentang skala sebagai berikut:

Tabel 8. Rentang Skala

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

Teknik pengumpulan data dalam validasi ini berdasarkan jawaban angket yang diberikan oleh masyarakat lokal dan pemerintahan. *Instrument* penelitian akan menggunakan skala *likert*. Skala ini membantu memberikan jawaban yang bervariasi mulai dari jawaban bersifat positif maupun negatif berupa kata-kata yaitu sangat setuju, setuju, ragu-ragu, tidak setuju dan sangat tidak setuju. Tabel skala *likert* dapat di lihat pada tabel 9.

Tabel 9. Pengukuran Skala Likert

No	Skala <i>Likert</i>	Pernyataan	Nilai
1	SS	Sangat Setuju	5
2	S	Setuju	4
3	RG	Ragu-ragu	3
4	TS	Tidak Setuju	2
5	STS	Sangat Tidak Setuju	1

Sumber: (Sugiyono, 2012).

Data *stakeholder* yang telah didapatkan selanjutnya akan dilakukan uji validitas dan uji reliabilitas. Uji validitas dan uji reliabilitas digunakan dalam penelitian untuk mengetahui kebenaran dan reliabel data yang telah di dapatkan dari jawaban angket pemangku kepentingan. Uji tersebut masing-masing akan di analisis menggunakan SPSS Statistik.

Uji validitas adalah suatu ukuran yang menunjukkan kevalidan suatu instrumen. Oleh karena itu, pengujian validitas mengacu pada seberapa baik suatu instrumen menjalankan fungsinya (Sugeng, 2014). Instrumen yang valid akan menunjukkan bahwa instrumen tersebut dapat digunakan dalam mengukur apa yang seharusnya diukur (Sugiyono, 2013). Dalam menguji tingkat validitas dari data dengan taraf signifikan ($\alpha = 5\%$) digunakan rumus koefisien korelasi *product moment* yang telah dilakukan pengolahan sebelumnya pada SPSS Statistik. Korelasi *product moment* menunjukkan jika nilai (r-hitung) lebih besar dari (r-tabel), maka data dapat dinyatakan valid. Namun apabila nilai (r-hitung) lebih kecil (r-tabel), maka data dapat dinyatakan tidak valid.

Uji reliabilitas didefinisikan sebagai konsistensi data dari metode dan hasil penelitian yang di lakukan. Reliabilitas akan menguji ketepatan skala-skala pengukuran instrumen penelitian karena konsepnya mengacu pada konsistensi hasil skor pada item-item dalam kuesioner (Sugeng, 2014). Dalam menguji tingkat reliabilitas dari data penelitian digunakan rumus *Alpha Cronbach* hal ini di lakukan karena skor dalam *instrument* penelitian berskala 1 sampai 5 (Ridho, 2023). Rumus *Alpha Cronbach* merupakan ukuran reliabilitas yang paling tepat ketika instrumen

penelitian disusun menggunakan skala *Likert*. Jika nilai *Alpha Cronbach* suatu variabel > 0,60, maka variabel tersebut dianggap dapat diandalkan atau konsisten dalam metriknya (Taherdoost, 2018).

2.6 Standar Indeks Kerentanan

Kerentanan dapat dijelaskan sebagai keadaan yang ada dalam suatu komunitas atau masyarakat yang mengarah atau menimbulkan ketidakmampuan untuk menghadapi bahaya bencana. Indeks kerentanan merupakan salah satu elemen kunci dalam usaha untuk menekan risiko serta kontribusi dalam penyusunan skenario zonasi (Hastanti & Miardini, 2021). Standar indeks kerentanan dilakukan setelah proses validasi menggunakan empat pendekatan selesai, maka langkah selanjutnya melakukan skoring terhadap keempat indikator validasi sehingga diperoleh tingkat kevalidan indeks kerentanannya. Penetapan skoring kevalidan indeks kerentanan dapat di lihat pada tabel 10.

Tabel 10. Skor indikator

No	Kriteria validasi	Nilai kriteria	Skor
1	Analisis korelasi (Nilai korelasi)	0 - 0,3	10
		0,3 - 0,7	30
		0,7 - 1	50
2	<i>Cross section</i> spasial (Akurasi Kappa)	0 – 20 %	10
		21 - 40%	20
		41 - 60%	30
		60 - 80%	40
		> 80%	50
3	Survey lapangan (Akurasi Kappa)	0 – 20 %	10
		21 - 40%	20
		41 - 60%	30
		60 - 80%	40
		> 80%	50
4	Presepsi pemangku kepentingan	Tidak sesuai	10
		Rendah	20
		Sedang	30
		Sesuai	40
		Sangat sesuai	50

Kerentanan dipengaruhi faktor kompleks (proses fisik, sosial, ekonomi, dan lingkungan) sehingga meningkatkan risiko dampak. Indeks kerentanan merupakan aspek krusial untuk dipahami sebagai salah satu elemen yang memengaruhi kemungkinan terjadinya bencana, sebab bencana akan muncul hanya jika ada ancaman yang terjadi dalam situasi yang lemah (Deliany Putri & Muhammad, 2019). Penentuan kelas kevalidan sensitivitas ekologi dapat di lihat pada tabel 11.

Tabel 11. Kelas Kevalidan

No	Kelas Kevalidan	Keterangan
1	<40	Sangat Tidak Valid
2	40 – 80	Tidak Valid
3	80 – 120	Sedang
4	120 – 160	Valid
5	>160	Sangat valid

Kelas kevalidan akan membantu dalam melakukan standarisasi. Standarisasi adalah mengonversi data dari berbagai sumber ke dalam format yang lebih umum dan sederhana. Standarisasi data bisa dilakukan jika pada variabel yang diamati terdapat perbedaan ukuran satuan yang signifikan (Nurissaidah Ulinnuh & Rafika Veriani, 2020). Setelah melakukan analisis terkait kelas kevalidan maka standarisasi dapat dilakukan. Rumus standarisasi yang digunakan untuk mendapatkan standar indeks adalah:

$$\sum_{i=1}^n ((\frac{|IK| - |IK \min|}{|IK \max| - |IK \min|})(n - 1)) + 1 \quad (9)$$

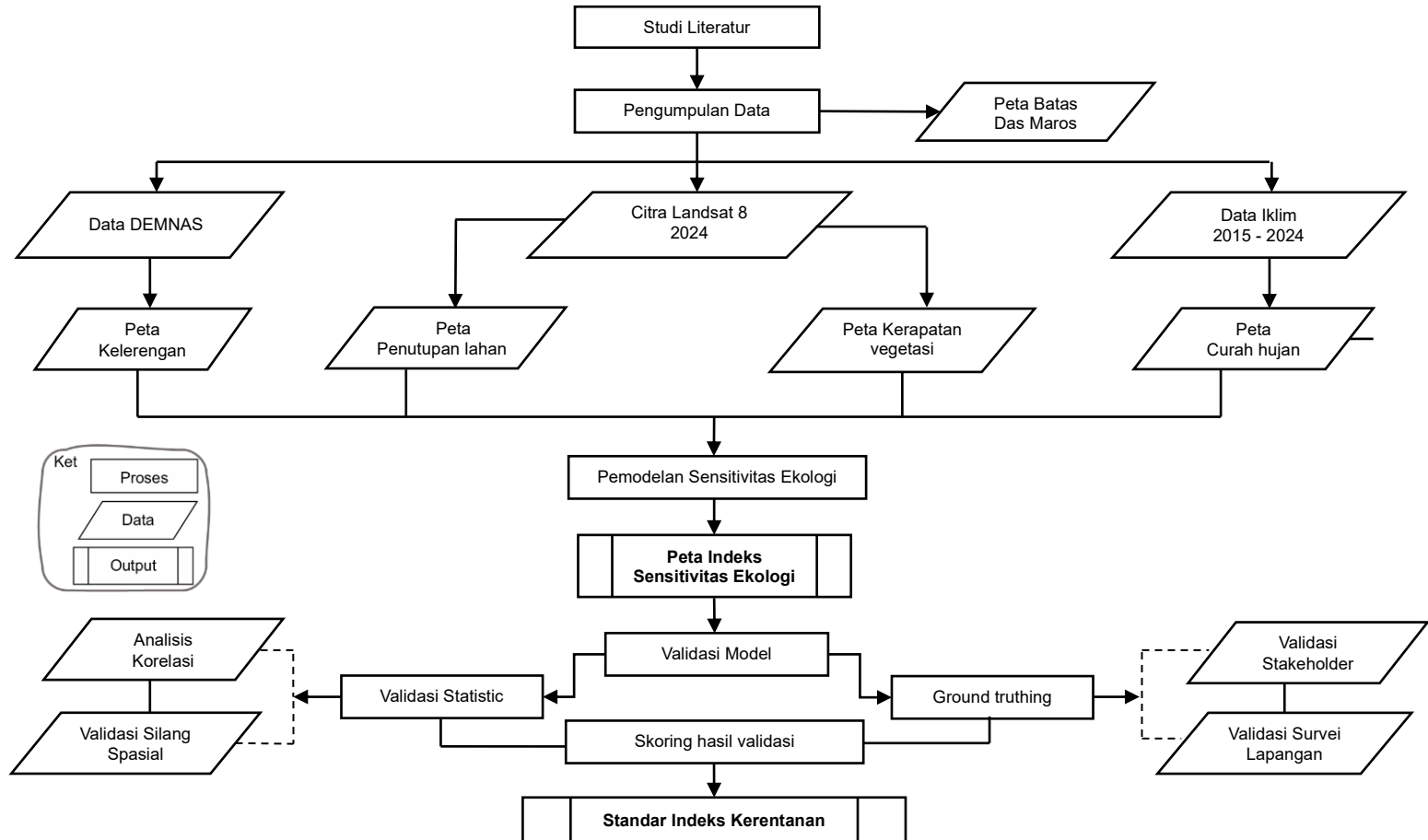
Dimana

IK = indeks kerentanan

IK_{min} = nilai indeks minimal

IK_{max} = nilai indeks maksimal

n = jumlah kelas kevalidan



Gambar 4. Diagram alir penelitian