

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) Tahun 2023 memprediksi kenaikan suhu global akan mencapai atau melampaui 1,5°C atau 2,7°F antara tahun 2021 hingga 2040. Negara tropis rentan terhadap bencana hidrometeorologi, termasuk kekeringan yang dipicu oleh perubahan iklim (Thomas dkk., 2014). Penelitian kekeringan telah dilakukan di beberapa negara tropis, antara lain di Filipina khususnya di wilayah Ilocos Norte (Alonzo dkk., 2023), di India (Chuphal dkk., 2024), di Malaysia (Hasan dkk., 2021), di Brazil (Cunha dkk., 2019), dan juga di Indonesia (Amalo dkk., 2018; Nursaputra dkk., 2021)

Fenomena kekeringan sangat kompleks (Basara dkk., 2013), karena fenomena ini disebabkan oleh banyak variabel. Fenomena ini kemungkinan memengaruhi sistem yang beragam seperti sumber daya air, pertanian, ekologi, ekonomi dan kehutanan (Park dkk., 2017 dan Vicente-serrano dkk., 2012). Lebih lanjut, Wijitkosum (2018) menjelaskan bahwa fenomena ini bukan disebabkan oleh satu faktor saja, melainkan kombinasi antara aktivitas manusia dan faktor alam. Menurut Wilhite dan Glantz (1985), kekeringan di seluruh dunia diklasifikasikan ke dalam kategori pertanian, meteorologi, hidrologi, dan sosio-ekonomi. Segala bentuk kekeringan disebabkan oleh tidak adanya curah hujan dalam ruang dan waktu (Yihdego dkk., 2019). Oleh karena itu, fenomena tersebut tidak terlepas dari siklus air.

Kekeringan memberi dampak struktural dan non struktural. Namun jarang dijumpai dampak struktural, berbeda dengan banjir dan tanah longsor (Wilhite, 2000). Menurut Aragão dkk. (2014) dan Van Der Laan-Luijckx dkk. (2015), ada kekhawatiran bahwa frekuensi, durasi, dan intensitas kekeringan meningkat sebagai dampak dari perubahan iklim yang memengaruhi penyerapan karbon hutan tropis saat ini sehingga dapat memperburuk kondisi iklim di masa mendatang. Selain itu, peningkatan jumlah karbon juga terjadi akibat fenomena kebakaran hutan yang disebabkan oleh kekeringan yang berkepanjangan (Aragão dkk., 2014). Kekeringan berdampak pula pada penurunan produksi pangan (Pradhan dkk., 2017) sehingga dapat mengancam kelangsungan hidup manusia. Data histori kejadian kekeringan di Sulawesi Selatan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menunjukkan bahwa selama kurun waktu 2000-2023 terdapat 169 kejadian kekeringan yang tersebar di Sulawesi Selatan. Badan Pusat Statistik (2024) mencatat kekeringan yang terjadi tahun 2023 mengakibatkan 211.086 jiwa yang terdampak dan 11.582 jiwa di antaranya berada di Kabupaten Wajo dan Sidrap. Secara hidrologi, masuk dalam wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) Bila yang menjadi wilayah kajian dalam studi ini.

Daerah Aliran Sungai (DAS) Bila, salah satu DAS yang berada di Provinsi Sulawesi Selatan dan merupakan bagian dari DAS Bila-Walanae. Hulu DAS terletak di Kabupaten Enrekang dan bagian hilir DAS terletak di Danau Tempe. Hasil

penelitian Rahmat dkk. (2023) menunjukkan dalam rentang waktu lima tahun yakni 2017 hingga 2021, terjadi alihfungsi lahan dari hutan menjadi non hutan. Tercatat seluas 915,96 ha dari hutan lahan kering sekunder dialihfungsikan menjadi pertanian lahan kering campur. Perubahan tutupan lahan tersebut berdampak pada setiap proses hidrologi. Hasil penelitian Garg dkk. (2019), pengurangan 0,7% hutan pada suatu DAS berpotensi mengurangi ketersediaan air dalam suatu DAS dan meningkatkan limpasan permukaan sebesar 45%. Limpasan permukaan menyebabkan terangkutnya material tanah melalui media air masuk ke badan air. Kapasitas tampung Danau Tempe, sebagai hilir dari DAS Bila mengalami penurunan akibat sedimen yang dibawa oleh aliran sungai-sungai yang bermuara di danau tersebut, khususnya Sungai Bila (Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2014). Data dari Pusat Penelitian Limnologi LIPI (2011) yang dikutip BLHD (2012) menunjukkan bahwa laju sedimentasi Danau Tempe berkisar antara 1,0 hingga 3,0 cm per tahun menyebabkan pendangkalan yang berakibat pada potensi banjir di musim hujan dan kekeringan di musim kemarau.

Informasi tentang lokasi rawan kekeringan sangat diperlukan untuk mengurangi dampak fenomena ini. Keterbatasan sumber daya manusia menjadi kendala dalam menjangkau wilayah dengan cakupan spasial yang luas sehingga pemanfaatan teknologi penginderaan jauh yang dipadukan dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) digunakan untuk mengumpulkan informasi berupa data geospasial untuk mengidentifikasi kekeringan dan memetakan zona rawan kekeringan di suatu wilayah. Penelitian terkait kekeringan, baik identifikasi wilayah maupun kategori tingkat kekeringan telah dilakukan dengan menggunakan indeks kekeringan di beberapa wilayah di Indonesia, khususnya Sulawesi Selatan seperti pada penelitian Nursaputra dkk. (2021), Pahar dkk. (2021), Senjani dkk. (2020). Akan tetapi, penelitian sebelumnya belum menunjukkan tingkat kerawanan kekeringan sehingga peneliti mengangkat topik penelitian mengenai tingkat kerawanan kekeringan menggunakan metode *Frequency Ratio* (FR).

Lee dkk. (2012) menyatakan bahwa pendekatan FR dikenal dengan presisi tinggi dalam penilaian kerentanan. Metode ini menggunakan analisa statistik bivariat yang banyak digunakan dalam studi bencana alam. Metode ini telah banyak digunakan untuk pemetaan bencana alam seperti tanah longsor (Addis, 2023; Cantarino dkk., 2023 ; Li dkk., 2016; Solaimani dkk., 2013), banjir (Rahmati dkk., 2015; Samanta dkk., 2018; Wang dkk., 2021), dan erosi tanah (Islam dkk., 2022; Senanayake dkk., 2020). Namun, sangat jarang digunakan untuk pemetaan kekeringan karena umumnya penilaian kerawanan kekeringan menggunakan metode skoring seperti pada penelitian Ardiansyah dkk. (2021); Prasetyo dkk. (2018); Widiyantoro (2022). Oleh karena itu, penelitian ini perlu dilakukan untuk menghasilkan data tingkat kerawanan kekeringan di wilayah kajian. Hasil penelitian tersebut diharapkan menjadi referensi ilmiah dalam meningkatkan sistem peringatan dini untuk masyarakat sebagai upaya pengurangan risiko bencana kekeringan dan penentuan mitigasi yang tepat di wilayah kajian.

## 1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan hal yang melatarbelakangi penelitian ini, dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana sebaran kejadian kekeringan dan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekeringan di DAS Bila?
- b. Bagaimana tingkat kerawanan kekeringan di DAS Bila?
- c. Bagaimana arahan mitigasi untuk mengurangi risiko kekeringan di DAS Bila?

## 1.3. Tujuan dan Manfaat

Berdasarkan rumusan masalah yang dikemukakan, maka tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

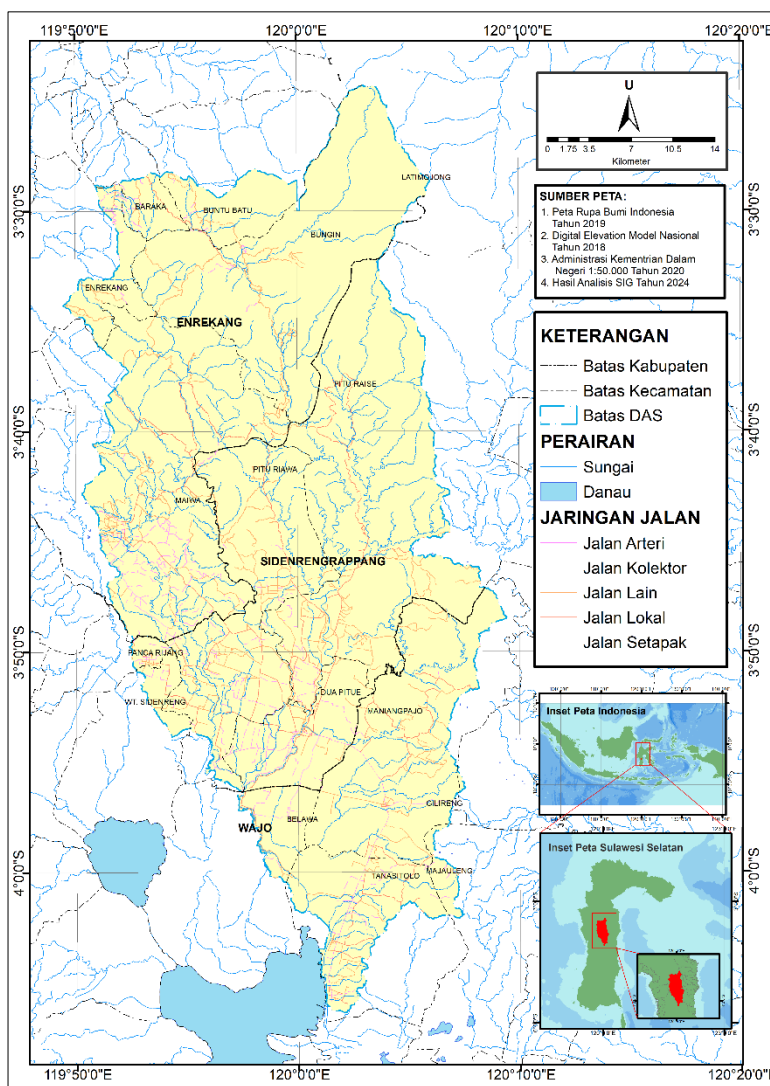
- a. Mengidentifikasi kejadian kekeringan di DAS Bila dan faktor-faktor yang berpengaruh.
- b. Menganalisis tingkat kerawanan kekeringan menggunakan *Frequency Ratio* (FR) dan membuat peta kerawanan kekeringan DAS Bila.
- c. Menentukan arahan mitigasi untuk mengurangi risiko kekeringan di DAS Bila.

Manfaat penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi ilmiah bagi peneliti selanjutnya, bagi pemerintah terkait peningkatan sistem peringatan dini dan penyusunan rencana mitigasi yang tepat di wilayah kajian.

## BAB II METODE PENELITIAN

### 2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama enam bulan yaitu Bulan Oktober 2024 sampai dengan Maret 2025. Lokasi penelitian pada DAS Bila yang secara administrasi masuk dalam Kabupaten Sidrap, Wajo, dan Enrekang. Pengolahan dan analisis data akan dilaksanakan pada Laboratorium Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin. Lokasi penelitian secara spasial dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

## 2.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan merupakan *instrument* dalam pengumpulan data yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat Penelitian

No	Alat	Kegunaan
1	Komputer/laptop	Perangkat keras dalam menganalisis data
2	<i>Software</i> GIS	Analisis data spasial dan data penginderaan jauh
3	<i>Software</i> Microsoft Office	Analisis data tabular
4	Kamera	Dokumentasi kegiatan penelitian
5	Alat tulis menulis	Mencatat proses penelitian (teknis/non teknis)

Bahan yang digunakan merupakan parameter atau variabel penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Bahan Penelitian

Tahapan Penelitian	Bahan	Sumber
Delineasi batas DAS dan administrasi	DEM ( <i>Digital Elevation Model</i> ) Nasional resolusi 8,1 m	Ina Geoportal Badan Informasi Geografis (BIG) melalui laman situs <a href="https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/">https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/</a>
	Peta administrasi (Sidrap, Wajo, Enrekang)	Kementerian Dalam Negeri Indonesia dan Badan Informasi Geografis (BIG) melalui laman situs <a href="https://tanahair.indonesia.go.id">https://tanahair.indonesia.go.id</a>
Identifikasi kekeringan	Citra Landsat 8 Tahun 2019-2023	Diunduh melalui laman situs <i>Earth Explorer</i> yang dikelola oleh USGS <a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>
Analisis kerawanan kekeringan	Data curah hujan	Satelit Curah Hujan melalui portal NASA/POWER/MER-RA-2 <a href="https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/">https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/</a>
	Data sifat fisik tanah	Peta <i>Landsystem</i> RePPPProt Skala 1:250.000 Tahun 1984

Tahapan Penelitian	Bahan	Sumber
		dan pengambilan sampel tanah di lapangan
	Data penutupan lahan	Interpretasi Citra Sentinel-2
	Kerapatan vegetasi	Analisis NDVI Citra Landsat-8
	Kepadatan pemukiman	Analisis NDBI Citra Landsat-8
	Titik-titik panas ( <i>Hotspot</i> )	Titik Hotspot FIRMS NASA VIIRS NOAA-20 375 m melalui laman <a href="https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/">https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/</a> situs
	Kemiringan Lereng	Analisis DEM ( <i>Digital Elevation Model</i> ) Nasional resolusi 8,1 meter
	Jarak dari sungai	Analisis DEM ( <i>Digital Elevation Model</i> ) Nasional resolusi 8,1 meter
Arahan mitigasi kekeringan	Peta Internalisasi DAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peta morfologi DAS</li> <li>- Peta lahan kritis</li> <li>- Peta banjir limpasan</li> <li>- Peta fungsi kawasan</li> <li>- Peta rencana pola ruang</li> </ul>

## 2.3. Prosedur Kerja

### 2.3.1 Teknik Pengumpulan Data

#### Curah Hujan

Data curah hujan diperoleh dari satelit NASA/POWER CERES/MER-RA-2 (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2) dan diunduh melalui situs web: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (diakses pada 18 Januari 2025). Data yang diunduh berupa data curah hujan harian berdasarkan titik-titik stasiun yang mencakup wilayah kajian. Kemudian, data curah hujan diolah menggunakan *software Microsoft Excel* menjadi curah hujan rata-rata tahunan. Data tabular tersebut menjadi data input dalam *software GIS*, juga data shp (*shapefile*) titik stasiun. Nilai curah hujan dimasukkan ke dalam shp titik stasiun melalui menu *join and relate* pada *layers* sehingga masing-masing titik stasiun memiliki nilai curah hujan.

Pembuatan peta curah hujan menggunakan data shp tersebut dianalisis menggunakan metode *Thiessen Polygons* melalui menu *Arctoolbox – Analysis Tools – Proximity - Create Thiessen Polygons* di *software GIS*. Menurut Kumar dkk. (2021), metode tersebut merupakan salah satu pendekatan umum untuk menentukan curah

hujan rata-rata di suatu wilayah. Analisis rata-rata curah hujan regional, *Thiessen Polygons* lebih baik daripada teknik rata-rata aritmatika (Kumar dkk., 2021). Akan tetapi karena pengaruh orografis, pendekatan ini tidak memungkinkan untuk daerah berbukit/pegunungan (Bakis dkk., 2021) sehingga digunakan untuk daerah yang cenderung datar atau landai seperti pada DAS Bila. Hasil dari analisis Polygon Thiessen kemudian diklasifikasikan berdasarkan kelas curah hujan oleh Riajaya dkk. (2024), terdiri atas: 1.500-2.000 mm/tahun, 2.000-2.500 mm/tahun, 2.500-3.000 mm/tahun, dan >3.000 mm/tahun.

### Sifat Fisik Tanah

Klasifikasi tanah dan parameter sifat-sifat tanah termasuk tekstur tersedia pada peta *Landsystem Regional Physical Planning Programme for Transmigration* (RePPProt) Badan Koordinasi Survey Pemetaan Nasional Tahun 1987 skala 1:250.000. Akan tetapi, diperlukan pendetailan data tanah melalui survei/pengambilan sampel tanah dari satuan unit lahan. Peta satuan unit lahan ini dibentuk melalui proses tumpang susun antara peta RePPProt dan kelas lereng. Titik pengambilan sampel tanah mewakili masing-masing unit lahan yang terbentuk.

Sampel tanah yang diambil di lapangan berupa tanah tidak utuh dan tanah utuh pada masing-masing lapisan. Tanah tidak utuh berfungsi untuk analisis tekstur. Cara pengambilan sampel tersebut yakni diambil menggunakan sekop kemudian dimasukkan ke dalam plastik sampel dan diberi label. Sedangkan, tanah utuh berfungsi untuk analisis permeabilitas dan porositas.

### Penutupan Lahan

Kekeringan terjadi ketika rendahnya muka air tanah (Gullacher dkk., 2023). Hasil penelitian Chen dkk. (2009), kelembaban tanah yang mengacu pada jumlah air tanah, dipengaruhi oleh tutupan lahan. Hutan menunjukkan peningkatan kandungan air tanah sebesar 30,5% dibandingkan dengan lahan yang gundul. Kadar air tanah berkurang masing-masing sebesar 13,1% dan 32,1% ketika hutan diubah menjadi lahan pertanian atau lahan bekas tebangan.

Data tutupan lahan diperoleh melalui proses interpretasi citra satelit Sentinel-2 dari Platform ESA (*European Space Agency*) dengan resolusi 10 meter. Tahapan analisis yaitu:

- a. Mengunduh citra melalui laman situs <http://scihub.copernicus.eu/> untuk Tahun 2023.
- b. *Composite Band. Band Combination* atau sering disebut sebagai *composite band* karena dalam prosesnya akan melakukan komposit (penggabungan) tiga kanal (*band*).
- c. Memotong citra untuk mendapatkan area yang sesuai dengan wilayah kajian.
- d. Interpretasi citra secara digital yaitu *digitizing on screen*. Hasil interpretasi citra yang dilakukan menghasilkan peta penutupan lahan. Skala penutupan lahan yaitu 1:50.000.
- e. Uji akurasi klasifikasi citra digunakan untuk mengetahui perbandingan antara hasil interpretasi citra dengan kondisi yang sebenarnya di lapangan yang disajikan dalam *confusion matrix* (Tabel 3). Akurasi yang dihitung terdiri dari

akurasi pembuat (*producer's accuracy*), akurasi pengguna (*user's accuracy*), dan akurasi keseluruhan (*overall accuracy*). Nilai *overall accuracy* >85% dianggap cukup baik dan memenuhi persyaratan USGS (*United States Geological Survey*). Secara matematis rumus dari akurasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{producer's accuracy} = \frac{X_{ii}}{\sum X_{i+}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{user's accuracy} = \frac{X_{ii}}{\sum X_{+i}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{overall accuracy} = \frac{\sum_{i=1}^r X_{ii}}{N} \times 100\% \quad (3)$$

Tabel 3. *Confusion Matrix*

	Data Acuan			Total	User accuracy	
		A	B			C
Data Hasil Klasifikasi Citra	A`	$X_{ii}$			$\sum X_{+i}$	$X_{ii} / \sum X_{+i}$
	B`					
	C`			$X_{ii}$		
	Total	$\sum X_{i+}$			N	
Producer accuracy		$X_{ii} / \sum X_{i+}$				

Keterangan:

A, B, C : Data acuan

A`, B`, C` : Data hasil klasifikasi citra

$X_{ii}$  : Data yang diuji

$\sum X_{i+}$  : Jumlah data dalam baris

$\sum X_{+i}$  : Jumlah data dalam kolom

N : Total data yang diuji

Jensen (1996) dalam Rwanga dan Ndambuki (2017), kappa sebagai metode multivariat diskrit yang digunakan untuk menilai akurasi. Menurut Rahmat dkk. (2023), karena *overall accuracy* pada umumnya masih *overestimated*, maka disarankan pula menggunakan *Kappa Accuracy* dengan menghitung nilai koefisien kappa melalui persamaan berikut:

$$Kappa = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{N^2 \sum X_{i+} X_{+i}} \quad (4)$$

Keterangan:

$X_{ii}$  : Nilai diagonal dari matriks kontingensi baris ke-i dan kolom ke-i

$\sum X_{i+}$  : Jumlah piksel dalam baris ke-i

$\sum X_{+i}$  : Jumlah piksel dalam kolom ke-i

N : Banyaknya piksel dalam contoh

r : Nomor baris di dalam matriks

Nilai koefisien kappa berkisar antara <0 sampai dengan 1. Berikut klasifikasi oleh Rwanga dan Ndambuki (2017):

Tabel 4. Klasifikasi Koefisien Kappa

Nilai Kappa	Keterangan
<0,00	Buruk
0,00 – 0,20	Sangat Rendah
0,21 – 0,40	Rendah
0,41 – 0,60	Sedang
0,61 – 0,80	Cukup
0,81 – 1,00	Hampir sempurna

### Kepadatan Bangunan

Kepadatan pemukiman DAS Bila diperoleh melalui pemanfaatan citra satelit Landsat 8 dengan pendekatan *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI). Analisis ini menggunakan software GIS melalui menu *Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Map Algebra – Raster Calculator*. Menurut Ridwan dkk. (2021), pendekatan ini dapat menggambarkan intensitas bangunan, baik pemukiman maupun kawasan industri. Selanjutnya, menurut Karanam (2018), respon spektral dari kawasan terbangun dan tutupan lahan lainnya merupakan keunggulan utama metode ini dan apabila dibandingkan dengan metode klasifikasi kemungkinan maksimum, metode NDBI ini merupakan metode yang efektif untuk memetakan kawasan terbangun secara cepat dan objektif. Zha dkk. (2003) memetakan kawasan terbangun kota Nanjing di Tiongkok yang memanfaatkan citra Landsat 5-TM dengan persamaan NDBI:

$$NDBI = \frac{(\rho_{SWIR1} - \rho_{NIR})}{(\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR})} \quad (5)$$

Dimana:

Pada Landsat 5:  $\rho_{SWIR1}$  = Band 5 (*Short wave Infrared*);  $\rho_{NIR}$  = Band 4 (*Near Infrared*)

pada Landsat 8:  $\rho_{SWIR1}$  = Band 6 (*Short wave Infrared*);  $\rho_{NIR}$  = Band 5 (*Near Infrared*)

Nilai NDBI berkisar antara -1 hingga 1, dimana nilai negatif menunjukkan area non terbangun dan nilai positif menunjukkan area terbangun (Yasin dkk., 2020). Klasifikasi tingkat kepadatan pemukiman menurut Permatasari dan Prasetyo, (2022) dimuat dalam Tabel 5.

Tabel 5. Klasifikasi NDBI

Nilai NDBI	Keterangan
-1 - 0	Non-bangunan
0 – 0,1	Jarang
0,1 – 0,2	Rapat
0,2 – 1	Sangat Rapat

### **Hotspot Area.**

*Hotspot* mengindikasikan adanya titik panas, di mana titik tersebut memiliki suhu relatif lebih tinggi dibandingkan dengan suhu disekitarnya (Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.12/Menhut-II/2009 tentang Pengendalian Kebakaran Hutan). Hasil penelitian Maarif dan Mappatoba (2024) menunjukkan bahwa terdapat lebih banyak titik panas (*hotspot*) di daerah dengan intensitas curah hujan yang rendah. Oleh sebab itu, diasumsikan area yang lebih dekat dengan *hotspot* memiliki ancaman kekeringan yang lebih tinggi.

Data sebaran *hotspot* diperoleh dari data satelit NASA dari *Visible Inframerah Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) S-NPP yang tersedia mulai 20 Januari 2012 hingga saat ini, diunduh dengan format *shapefile* (.shp) berdasarkan periode penelitian melalui situs NASA *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS) <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>. *Shapefile point* tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *software* GIS. Langkah-langkah analisis sebagai berikut:

- a. Mengintegrasikan titik *hotspot* terdekat dengan nilai jarak ambang batas menggunakan *Integrate* pada *Arctoolbox – Data Management Tools – Feature Class*.
- b. Mengidentifikasi jumlah titik terdekat melalui menu *Arctoolbox – Spatial Statistics Tools – Utilities – Collect Events*.
- c. Uji *cluster* untuk data *Collect Events* menggunakan *Spatial Autocorrelation* (Morans I) pada *Arctoolbox – Spatial Statistics Tools – Analyzing Patterns* dengan menggunakan data analisis *Collect Events* (poin b) sebagai data input.
- d. Memetakan *cluster* menggunakan *Hotspot Analysis* (Getis-Ord  $G_i^*$ ) pada *Arctoolbox – Spatial Statistics Tools – Mapping Cluster*.
- e. Menginterpolasi *z-score* menggunakan metode IDW untuk membuat permukaan yang mewakili *hotspot* pada menu *Arctoolbox – 3D Analyst Tools – Interpolation*.
- f. Mengklasifikasi ulang (*Reclassify*) terhadap nilai *z-score* secara manual menjadi tiga kelas yakni <1 (Rendah), 1-2 (Sedang), dan >2 (Tinggi).

### **Kerapatan Vegetasi**

Kerapatan vegetasi dapat diketahui melalui pemanfaatan citra satelit dengan pendekatan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Nilai NDVI diperoleh dari *band* 5 (NIR) dan *band* 4 (Red) pada citra Landsat 8, yang menggambarkan tingkat kehijauan suatu tanaman. Beberapa peneliti sebelumnya seperti (El-shikha dkk., 2007; Lan dkk., 2009)) menggunakan analisis ini untuk mengamati dan mengevaluasi tutupan vegetasi serta mengamati kerapatan vegetasi seperti pada penelitian Dede dkk. (2019), Hardianto dkk. (2021), Yanti dkk. (2020).

Diasumsikan bahwa vegetasi memiliki kapasitas penyerapan air yang tinggi. Dengan demikian, suatu wilayah dengan kepadatan vegetasi yang tinggi dan daya serap air yang tinggi ditunjukkan dengan nilai NDVI yang tinggi. Sebaliknya, nilai NDVI yang rendah menunjukkan wilayah yang terkena dampak kekeringan memiliki kepadatan vegetasi yang rendah dan kapasitas penyerapan air yang rendah. Persamaan nilai NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) menggunakan citra Landsat 8 sebagai berikut (Tucker, 1979):

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{Red})}{(\rho_{NIR} + \rho_{Red})} \quad (6)$$

Dimana:

$\rho_{NIR}$  = Band 5 (Inframerah Dekat);  $\rho_{RED}$  = Band 4 (Merah)

Nilai NDVI berkisar antara -1 sampai dengan 1. Menurut Ahmed dan Singh (2020), nilai NDVI tidak kurang dari 0 di kawasan bervegetasi. Berikut klasifikasi nilai NDVI menurut Ahmed & Singh (2020):

Tabel 6. Klasifikasi NDVI

Nilai NDVI	Keterangan
$\leq 0,1$	Tidak bervegetasi (badan air/lahan terbuka)
0,2 – 0,5	Vegetasi jarang
$> 0,5$	Vegetasi rapat

### Kemiringan Lereng

Limpasan permukaan dan aliran bawah permukaan dipercepat dengan bertambahnya kemiringan lahan (Woo, 2012; Sen, 2015 dalam Wu dkk. (2017). Akibatnya, infiltrasi air dan penyimpanan air tanah menurun. Hasil penelitian Wu dkk. (2017) mengenai penilaian kerawanan kekeringan pertanian di Guanzhong Plain, China menunjukkan bahwa meskipun wilayah ini memiliki curah hujan yang relatif tinggi, kemiringan lereng yang curam menyebabkan wilayah ini rentan terhadap kekeringan. Kelas kemiringan lereng DAS Bila diperoleh melalui *Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Surface – Slope* dengan menggunakan data DEM sebagai data input. Selanjutnya, mengklasifikasi ulang menggunakan *tool Reclassify* menjadi lima kelas seperti pada penelitian Utama dan Indriani (2021), sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Klasifikasi Kemiringan Lereng

Kemiringan Lereng (%)	Kategori
0 – 8	Datar
8 – 15	Landai
15 – 25	Agak curam
25 - 45	Curam
$> 45$	Sangat curam

### Jarak Sungai

Secara umum, wilayah yang dekat dengan sungai utama memiliki ketersediaan air lebih tinggi dibanding daerah-daerah yang jauh. Hal tersebut berkaitan dengan ketersediaan air tanah dan retensi kelembaban (Swain dkk., 2022). Semakin jauh suatu wilayah dari sungai, semakin sulit memperoleh air tanah (Prasetyo dkk., 2018). Hasil penelitian Swain dkk. (2022) tentang penilaian kerentanan kekeringan di DAS

Narmada, India menunjukkan bahwa wilayah yang jauh dari sungai (>7 km) sebagian besar rentan terhadap kekeringan.

Jarak sungai wilayah kajian dianalisis menggunakan tool *Euclidean distance* melalui *Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Distance* pada software GIS. Data input yang digunakan adalah data shp sungai yang bersumber dari hasil deliniasi. Mengklasifikasi ulang menggunakan tool *Reclassify* pada *Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Reclass* menjadi empat kelas seperti pada penelitian Prasetyo dkk. (2018), yaitu, 0 – 100 m, 100 – 250 m, 250 – 500 m, dan >500 m.

### 2.3.2 Analisis Data

#### Identifikasi Kekeringan

Citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Landsat periode 2019-2023. Pemilihan citra dilakukan pada bulan-bulan kering setiap tahunnya untuk merepresentasikan kondisi permukaan lahan saat curah hujan rendah dan tingkat kekeringan cenderung tinggi. Adapun bulan perekaman yang dipilih meliputi Juli-September 2019, Agustus 2020, September 2021, Agustus 2022, dan Agustus-Oktober 2023. Pemilihan tersebut juga mempertimbangkan kondisi tutupan awan yang relative rendah agar menghasilkan data yang lebih akurat dalam analisis spasial.

Kekeringan diidentifikasi melalui pendekatan nilai *Land Surface Temperature* (LST). Nilai LST diperoleh dari *band 10-TIRS (Thermal Infra-Red Sensor)* pada citra Landsat 8 yang dianalisis menggunakan *software GIS*. Sruthi dan Aslam (2015) mengungkapkan bahwa LST dapat digunakan untuk mendeteksi kekeringan di suatu wilayah. Julianto dan Ediyanto (2021) menggunakan pendekatan LST sebagai data penunjang dalam mengamati kekeringan. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa sebagian besar daerah yang memiliki nilai LST tinggi masuk dalam kategori kekeringan yang tinggi. Oleh sebab itu, pendekatan ini digunakan dalam mengidentifikasi kekeringan di DAS Bila dengan asumsi bahwa nilai LST yang tinggi dianggap sebagai kekeringan. Tahapan-tahapan untuk memperoleh nilai LST sebagai berikut (Avdan dan Jovanovska, 2016):

Konversi *digital number* (DN) ke *Top of Atmospheric* (TOA)

$$L\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L - O_i \quad (7)$$

Konversi TOA ke *Brightness Temperature* (BT)

$$BT = \frac{K2}{\ln\left[\left(\frac{K1}{L\lambda}\right) + 1\right]} - 273.15 \quad (8)$$

Menghitung NDVI

$$NDVI = \frac{NIR(\text{band } 5) - Red(\text{band } 4)}{NIR(\text{band } 5) + Red(\text{band } 4)} \quad (9)$$

Menghitung *Proportion of Vegetation* (PV)

$$PV = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (10)$$

Menghitung *Land Surface Emissivity*

$$\varepsilon\lambda = 0.004 * PV + 0.986 \quad (11)$$

Terakhir, menghitung *Land Surface Temperature* (LST)

$$LST = \frac{BT}{(1 + (\lambda * \frac{BT}{c^2}) * \ln \varepsilon\lambda)} \quad (12)$$

Analisis tersebut menghasilkan data format raster yang menunjukkan suhu dalam satuan Celcius. Nilai LST kemudian diklasifikasikan berdasarkan kelas oleh Liviona dkk. (2020), yaitu <20°C (sangat rendah), 20-25°C (rendah), 25-30°C (sedang), dan 30-35°C (tinggi). Selanjutnya, diklasifikasikan ulang menjadi dua kelas, dengan dua kelas pertama dikategorikan non-kekeringan dan dua kelas setelahnya dikategorikan sebagai kekeringan. Hasil analisis dalam format raster kemudian dikonversi menjadi shapefile. Dua kelas yang dikategorikan sebagai kekeringan kemudian diekstrak sebelum dioverlay dengan data kekeringan tahun selanjutnya. Proses overlay menghasilkan satu data shapefile kejadian kekeringan periode 2019-2023.

Kejadian kekeringan yang diperoleh dari analisis kemudian divalidasi dengan cara *groundcheck* di beberapa titik lokasi. Selain itu, validasi juga dilakukan melalui metode wawancara. Wawancara ini bertujuan untuk memperoleh informasi langsung dari masyarakat setempat mengenai wilayah-wilayah yang mengalami kekeringan selama periode penelitian.

### **Analisis Kerawanan Kekeringan Menggunakan Metode *Frequency Ratio* (FR)**

Bonham-Carter (1994) dalam Sarkar dkk. (2021), FR dapat menunjukkan potensi terjadinya peristiwa tertentu. Prinsipnya sederhana, FR mudah diintegrasikan ke dalam sistem GIS sehingga mudah digunakan (Lee dan Pradhan, 2007; Yilmaz, 2009). Korelasi yang dapat diprediksi secara spasial antara suatu peristiwa (variabel independen) dan faktor penyebabnya (variabel dependen) dapat dilakukan melalui penerapan teknik FR (Abdekareem dkk., 2023). FR sebagai bagian dari analisis statistik bivariat (BSA), memberikan nilai pada setiap sub dalam setiap variabel yang memengaruhi probabilitas peristiwa alam (Lee dkk., 2012; Sarkar dan Mondal, 2020; Tehrany dkk., 2017).

Variabel yang digunakan dalam studi ini meliputi curah hujan, tekstur tanah pada tiga lapisan (0–30 cm, 30–60 cm, dan 60–90 cm), permeabilitas tanah pada tiga lapisan yang sama, porositas tanah (juga dibagi menjadi tiga lapisan), tutupan lahan, kepadatan bangunan, area hotspot, kepadatan vegetasi, kemiringan, dan jarak dari sungai. Variabel tersebut dipilih berdasarkan studi literatur dan ketersediaan data.

Pada proses ini data yang diperlukan adalah data identifikasi kekeringan dan data faktor-faktor penyebab kekeringan dalam format raster. Data identifikasi kekeringan diberi kode 0 untuk wilayah yang non-kekeringan dan kode 1 untuk wilayah yang kekeringan. Selain itu, data faktor-faktor diberi kode angka secara berurut sesuai dengan jumlah kelasnya. Data identifikasi kekeringan dikonversi ke

data vektor *point* menggunakan *tools raster to point* pada *software* GIS menghasilkan data kekeringan *point*. Selanjutnya, dilakukan ekstraksi data kelas pada setiap faktor penyebab kekeringan ke dalam data kekeringan *point* menggunakan *tools Extract Multivalue to Points*, dimana data kekeringan *point* sebagai *input point features* dan semua data raster faktor-faktor sebagai *input raster*. FR diperoleh dengan membagi angka kejadian dengan luas masing-masing faktor penyebab. Nilai FR dihitung menggunakan formula (Soma dan Kubota, 2017):

$$FR = \frac{P_{xL}(nm)/\sum P_{nxL}}{Pixel(nm)/\sum P_{nx}} \quad (13)$$

Dimana:

$P_{xL}$  = jumlah pixel kejadian kekeringan di dalam kelas n dari parameter m (nm)

$Pixel$  = jumlah pixel di kelas n dari parameter m (nm)

$\sum P_{nxL}$  = total piksel dari parameter m

$\sum P_{nx}$  = keseluruhan piksel dari area

Proses ini menghasilkan nilai piksel pada setiap kelas faktor yang digunakan pada perhitungan FR. Hubungan antara kejadian kekeringan dan faktor-faktor penyebabnya akan lebih besar jika rasionya lebih besar dari 1,0. Sebaliknya, jika rasionya kurang dari 1,0 maka hubungannya lemah. Seluruh elemen penyebab direpresentasikan sebagai peta raster nilai Fr untuk membangun indeks kerentanan kekeringan (*Drought Susceptibility Index*), yang kemudian dihitung menggunakan rumus berikut:

$$DSI = Fr_1 + Fr_2 + \dots + Fr_n \quad (14)$$

Dimana:

$Fr_1$ ,  $Fr_2$ , dan  $Fr_n$ : peta raster *frequency ratio* untuk faktor bencana.

### Validasi Data

Data kejadian kekeringan dibagi berdasarkan rasio validasi optimal 70:30, sesuai rekomendasi Nguyen dkk. (2020) untuk menilai efektivitas metode FR dalam memperkirakan probabilitas kekeringan. Pembagian 70% data *training* untuk kesuksesan model dan 30% data validasi untuk tingkat prediksi model. Validasi ini akan menunjukkan seberapa baik FR dalam memprediksi kekeringan. Hasil validasi memperlihatkan nilai akurasi prediksi berdasarkan *Area Under Curve* (AUC) melalui analisis *Receiver Operating Characteristic* (ROC) dengan menggunakan *software Statistical Program for Social Science* (SPSS). AUC memiliki persamaan sebagai berikut:

$$AUC = \sum TP + \sum \frac{TN}{P+N} \quad (15)$$

Keterangan:

TP: *True Positive*

TN : *True Negative*

P : jumlah total kekeringan

N : jumlah total non-kekeringan

Area dengan nilai mendekati 1 menyatakan prediksi metode sukses dan dibawah  $<0,5$  rendah. Pada kurva ROC, sumbu X menunjukkan spesifisitas, yaitu probabilitas kesalahan prediksi titik non-kekeringan, dan sumbu y menunjukkan sensitivitas, yaitu tingkat keberhasilan dalam memprediksi lokasi kekeringan. Klasifikasi nilai AUC oleh Balamurugan dkk. (2017) dan Naghibi dkk. (2015) sebagai berikut: sangat baik (0,9–1,0), sangat baik (0,8–0,9), baik (0,7–0,8), rata-rata (0,6–0,7), dan buruk (0,5–0,6).

### **Arahan Mitigasi Risiko Kekeringan**

Bentuk arahan mitigasi difokuskan pada Konservasi Tanah dan Air (KTA), baik secara mekanis maupun vegetatif dengan analisis *overlay*. Data yang di-*overlay* meliputi data peta kejadian kekeringan dan peta internalisasi DAS. Data yang digunakan dalam analisis internalisasi DAS antara lain, peta debit limpasan, morfologi DAS, lahan kritis, pola ruang, dan fungsi kawasan (**Lampiran 1 – Lampiran 5**). Data-data tersebut dioverlay sehingga menghasilkan rekomendasi kegiatan rehabilitasi hutan dan lahan, baik vegetatif maupun teknik sipil dengan berpedoman pada Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung P.8/PDASHL/SET/KUM.1/8/2018 Tentang Petunjuk Teknis Internalisasi Rencana Pengelolaan Daerah Aliran Sungai ke Dalam Rencana Tata Ruang Wilayah.