

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan dasar manusia akan sangat bergantung pada ketersediaan lahan (Wijayanti dan Priyanto, 2022). Seiring waktu, kebutuhan lahan akibat pertumbuhan populasi manusia telah mendorong perubahan penutupan lahan, yang dipengaruhi oleh aktivitas sosial dan ekonomi serta perpindahan penduduk dari pedesaan ke wilayah perkotaan (Safari Kagabo dkk., 2024). Meningkatnya kebutuhan lahan seringkali mengakibatkan perambahan atau kerusakan terhadap wilayah yang sebelumnya ditutupi oleh hutan (S. Yang dkk., 2024).

Perubahan penutupan lahan, terutama konversi hutan menjadi lahan pertanian, pemukiman, atau industri, menjadi salah satu penyebab faktor utama terjadinya kekeringan (Tran dkk., 2019). Aktivitas manusia juga menghasilkan emisi gas rumah kaca dalam jumlah besar telah mempercepat laju perubahan iklim, sebagaimana dilaporkan oleh *National Climate Assessment* pada tahun 2018. Salah satu fenomena iklim yang kini banyak diperbincangkan adalah *El Niño*, yang terjadi secara periodik di Samudra Pasifik tengah dan timur, ditandai dengan pemanasan air laut yang signifikan. *El Niño* memicu perubahan pola cuaca global yang ekstrem, mulai dari curah hujan yang tinggi hingga kekeringan parah di berbagai wilayah (Malino, 2012).

Kekeringan merupakan dampak nyata dari perubahan iklim yang mengancam ketersediaan air bersih, produktivitas pertanian dan energi, serta keseimbangan ekosistem (G. Rahman dkk., 2025). Lebih dari 40% daratan dunia terdampak kekeringan, mencakup 30% populasi dan 45% lahan pertanian global (Ling dkk., 2023). Konversi hutan tanpa pengelolaan berkelanjutan akan menurunkan infiltrasi air (Ulrik dkk., 2007), sehingga mengurangi cadangan air tanah. Meningkatnya suhu juga mempercepat evapotranspirasi, memperburuk pengeringan tanah (Murray dan Ebi, 2012), yang diperparah oleh eksploitasi air tanah secara berlebihan.

Di Indonesia, khususnya di kota-kota besar, krisis air tanah telah mencapai tingkat yang mengkhawatirkan. Pengisian ulang air tanah menurun, sementara eksploitasi meningkat secara signifikan (Azis dkk., 2015). Berdasarkan data BPS, (2024) Provinsi Sulawesi Selatan khususnya Kota Makassar menjadi kota terbesar di kawasan timur Indonesia menunjukkan tren pertumbuhan penduduk yang tinggi, yaitu dari 1.408.072 jiwa pada tahun 2013 menjadi 1.474.393 jiwa pada tahun 2023. Peningkatan populasi ini mendorong pembangunan yang masif, sehingga turut menjadi salah satu penyebab meningkatnya risiko kekeringan di Kota Makassar. Penelitian Utami dkk., (2021) menunjukkan bahwa kejadian kekeringan di Sulawesi Selatan pada periode tahun 1999 – 2019 terjadi di setiap tahunnya dengan persentase kejadian 15.5%.

Daerah Aliran Sungai (DAS) Tallo mengalir di bagian wilayah perkotaan Kota Makassar, bagian hulu berada di pegunungan Kabupaten Gowa dan bermuara di Selat Kota Makassar. DAS Tallo dengan luas 43.665,10 ha (SK.304/MENLHK/PDASHL/DAS.0/7/2018). DAS Tallo mencakup berbagai jenis penggunaan lahan, termasuk hutan, pertanian, permukiman, dan area industri. Peningkatan laju pembangunan permukiman dan infrastruktur didorong oleh pertumbuhan populasi

manusia di kawasan perkotaan (Gao dkk., 2025). Pertumbuhan kawasan perkotaan di DAS Tallo yang meliputi Kota Makassar, Kabupaten Gowa, dan Kabupaten Maros merupakan bagian dari perkembangan Metropolitan Mamminasata, yang ditandai oleh dominasi aktivitas perkotaan seperti perumahan dan permukiman, industri, pendidikan, serta perdagangan dan jasa (Paddiyatu dan Latif, 2022). Peningkatan laju pertumbuhan lahan terbangun, seperti pembangunan permukiman dan infrastruktur menyebabkan peningkatan kebutuhan lahan, yang pada akhirnya akan memicu konversi lahan (Surni dkk., 2015).

Perkembangan kawasan permukiman sebagai fungsi utama mendorong perubahan signifikan penggunaan lahan di wilayah DAS Tallo, khususnya pada kawasan yang sebelumnya didominasi oleh aktivitas pertanian. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Paddiyatu dan Latif (2022) Seiring pesatnya pembangunan kawasan perkotaan baru dan kawasan penyangga Kota Makassar sejak tahun 2010, terjadi peningkatan jumlah penduduk yang cukup signifikan akibat urbanisasi dan migrasi masuk, yang mencerminkan pergeseran karakter wilayah dari kawasan agraris menjadi kawasan perkotaan serta memberikan tekanan terhadap daya dukung dan kondisi lingkungan DAS Tallo.

DAS Tallo menghadapi berbagai masalah lingkungan, termasuk Perubahan penggunaan lahan, seperti deforestasi di wilayah hulu dan urbanisasi di wilayah hilir. Perubahan penggunaan lahan wilayah DAS Tallo yang tidak terkontrol telah memperburuk masalah lingkungan seperti mempengaruhi siklus hidrologi dan meningkatkan risiko kekeringan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Engki Fatiawan dkk (2024) mengenai Kondisi Tata Air Daerah Aliran Sungai DAS Tallo, hasil penelitian menunjukkan daya dukung DAS Tallo dari aspek tata air termasuk ke dalam klasifikasi DAS sangat buruk dari tahun 2003 hingga tahun 2022 yang disebabkan oleh alih fungsi lahan dan luas hutan yang hanya 11% dari total luas DAS Tallo.

Pesatnya pembangunan yang terjadi menyebabkan berkurangnya ruang terbuka hijau (RTH) yang berfungsi sebagai penyimpanan cadangan air dalam tanah (Chen dkk., 2023). Masalah iklim di wilayah DAS Tallo menjadi pusat perhatian masyarakat sekitar Kota Makassar, Kabupaten Gowa dan Kabupaten Maros, dikutip dari CNN Indonesia pada tahun 2023, Badan penanggulangan bencana daerah (BPBD) Kota Makassar mengungkapkan dampak kekeringan membuat masyarakat kesulitan mendapatkan air bersih terutama pada wilayah yang terdampak Kecamatan Tamalanrea sebanyak 1.400 rumah, Kecamatan Biringkanaya 1.315, dan kecamatan Tallo sebanyak 2.392 rumah, BPBD telah menetapkan status tanggap darurat kota Makassar (CNN Indonesia, 2023).

Kelangkaan air akibat kekeringan menimbulkan ancaman serius terhadap ekosistem dan pembangunan berkelanjutan masyarakat di Wilayah DAS Tallo, sehingga pencegahan dan peringatan dini kejadian kekeringan menjadi sangat penting dalam menghadapi tantangan iklim di masa mendatang (Ling dkk., 2023). Identifikasi masalah iklim utamanya kekeringan diperlukan untuk dapat menentukan arahan atau tindakan dalam rangka adaptasi dampak yang merugikan dari kekeringan dengan cara melalui pengelolaan DAS dan peningkatan kesiapsiagaan untuk kejadian yang merugikan (Murray dan Ebi, 2012).

Dalam konteks pengelolaan DAS terhadap ancaman kekeringan memerlukan pendekatan yang komprehensif dan berkelanjutan dengan melakukan arahan

penggunaan lahan untuk menjaga keseimbangan antara kebutuhan air dan ketersediaan sumber daya air. Salah satu cara dalam mengatasi perubahan iklim terhadap kekeringan yang berdampak pada ketersediaan air untuk kebutuhan masyarakat dan kebutuhan pertanian adalah masyarakat perlu mengetahui penyebab dari perubahan iklim utamanya kekeringan dengan cara menambah wawasan tentang pengelolaan lingkungan utamanya pada wilayah DAS Tallo yang akan berpengaruh besar terhadap kondisi ekosistem ketersediaan air di wilayah perkotaan. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan suatu penelitian yang berjudul “Arahan Penggunaan Lahan Sebagai Upaya Adaptasi Perubahan Iklim Terhadap Kekeringan Di DAS Tallo”.

1.2 Rumusan Masalah

Bencana kekeringan pada wilayah DAS Tallo, salah satu penyebabnya adalah perubahan penutupan lahan akibat kebutuhan lahan permukiman menjadi dampak pada wilayah DAS Tallo yang mengakibatkan terjadinya kekurangan air pada saat musim kemarau. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Apakah ada perubahan yang signifikan pada penutupan lahan di DAS Tallo ?
2. Bagaimana tingkat masalah kekeringan di DAS Tallo ?
3. Bagaimana arahan penggunaan lahan yang dilakukan sebagai upaya adaptasi perubahan iklim terhadap kekeringan di DAS Tallo ?

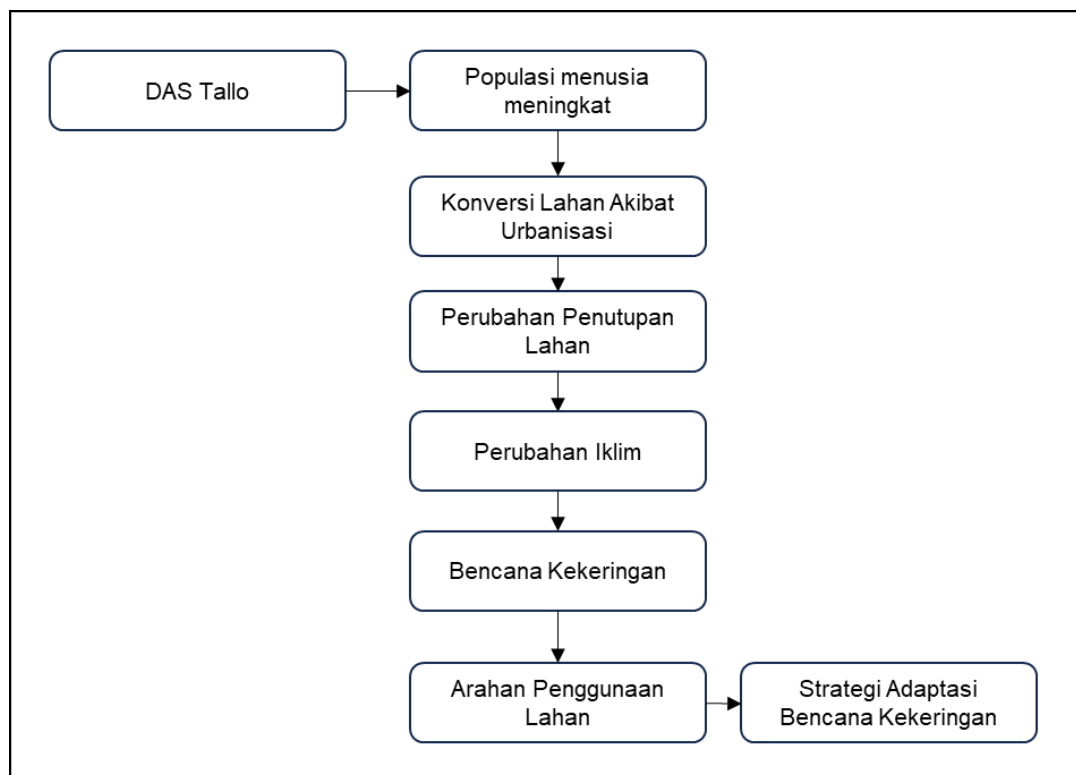
1.3 Tujuan dan Manfaat

Sehubungan dari rumusan masalah, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengidentifikasi perubahan penutupan lahan di DAS Tallo;
2. Untuk menganalisis tingkat kekeringan di DAS Tallo; dan
3. Merumuskan arahan penggunaan lahan sebagai upaya adaptasi perubahan iklim terhadap kekeringan di DAS Tallo.

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai kondisi tingkat kekeringan DAS Tallo dan memberikan data base berupa pola perubahan penggunaan lahan berdasarkan strategi adaptasi perubahan iklim terhadap kekeringan DAS Tallo. Hasil dari penelitian ini dapat menjadi acuan bagi pemerintah daerah dalam menyusun kebijakan rencana pola ruang berbasis bencana utamanya dalam rencana pengelolaan DAS.

1.4 Kerangka Pikir Penelitian

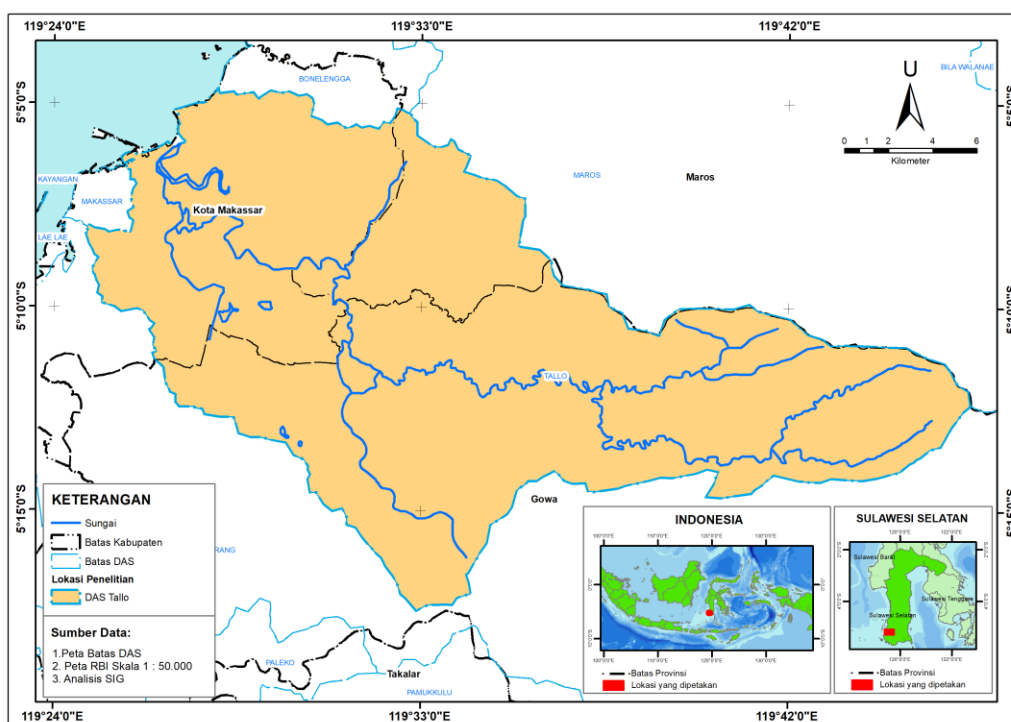


Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di DAS Tallo, secara geografis DAS Tallo terletak diantara 119° 26' 57" BT - 119° 46' 26" BT dan 5° 6' 7" LS - 5° 12' 22" LS dengan luas 43.665,10 Ha. Secara administratif DAS Tallo berada di wilayah Kabupaten Gowa, Kabupaten Maros dan Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Orientasi DAS Tallo mengalir dari arah timur ke barat, DAS Tallo mengalir dari hulu di pegunungan Kabupaten Gowa menuju dan bermuara di Selat Kota Makassar. Penelitian dilaksanakan mulai pada bulan Oktober 2024 - Juli tahun 2025. Peta batas DAS Tallo dapat dilihat secara visual pada gambar 2.



Gambar 2. Peta Batas Lokasi Penelitian DAS Tallo

2.2 Jenis dan Sumber data

Tabel 1. Jenis data, kegunaan dan sumber dalam penelitian

No	Bahan	Kegunaan	Sumber
1.	Landsat 8 OLI tahun 2014 (waktu perekaman 21 september 2014)	Sebagai bahan analisis untuk membuat peta penutupan lahan dan peta tingkat kekeringan, Kerapatan vegetasi dan Suhu permukaan lahan	<i>Earth Explorer</i>
2.	Landsat 8 OLI tahun 2023 (waktu perekaman 30 september 2023)	Sebagai bahan analisis untuk membuat peta penutupan lahan dan peta tingkat kekeringan, Kerapatan vegetasi dan Suhu permukaan lahan	<i>Earth Explorer</i>
3.	Peta Batas DAS Tallo	Sebagai bahan untuk mengetahui batas lokasi wilayah studi penelitian	Batas DAS SK.304/MENLHK/ PDASHL/DAS.0/7./2018/ Tentang Penetapan Daerah Aliran Sungai
4.	Peta Batas Administratif Kabupaten Gowa, Maros, dan Kota Makassar	Sebagai bahan untuk mengetahui wilayah administrasi DAS tallo	Tanah air Indonesia Badan Informasi Geospasial (Rupa Bumi Indonesia Skala 1:50.000 (RBI))
5.	Peta Pola Ruang Kabupaten Gowa, Maros dan Kota Makassar	Sebagai bahan untuk pertimbangan dalam melakukan arahan penggunaan lahan	RTRW Pola Ruang Kabupaten Gowa, Maros dan Kota Makassar
6.	Data Curah Hujan, suhu maksimum dan minimum	Sebagai bahan validasi kekeringan DAS Tallo	MERRA 2 NASA https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/

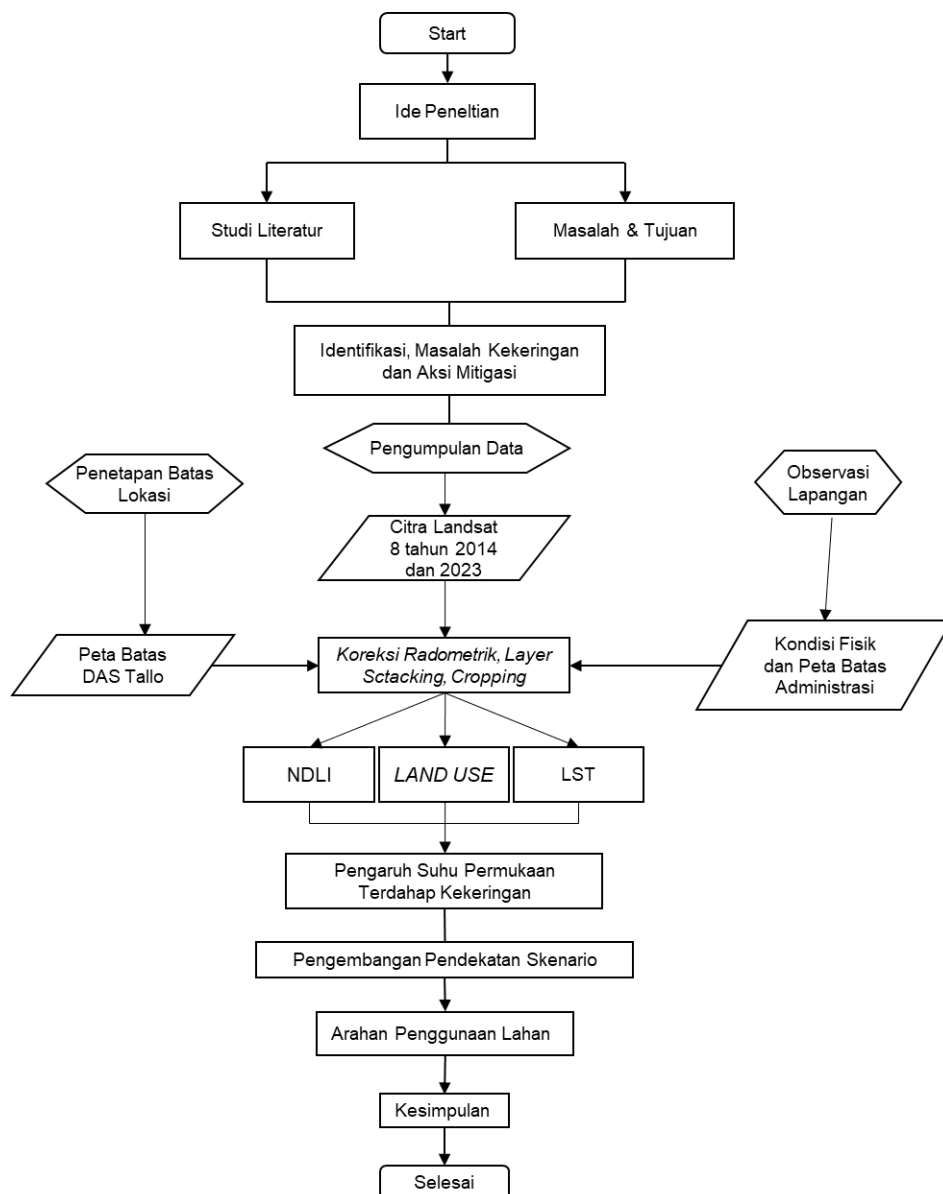
Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. (1) Data primer merupakan hasil dari kegiatan interpretasi citra satelit untuk mendasari pembuatan peta kekeringan, penutupan lahan, survey lapangan meliputi kondisi penggunaan lahan berupa dokumentasi foto, pengambilan titik koordinat yang dipilih secara *purposive sampling* berdasarkan aksesibilitas. Kemudian (2) Data sekunder merupakan data yang menyangkut kondisi keadaan umum lokasi penelitian meliputi data spasial batas DAS Tallo dan administrasi wilayah, jaringan sungai, jaringan jalan, presipitasi, suhu, pola ruang dan fungsi kawasan hutan.

2.3 Prosedur Penelitian

Proses penelitian ini dimulai dari penentuan batas lokasi penelitian kemudian melakukan langkah dengan tahapan pra pengolahan data dan pengolahan data. Penentuan batas lokasi penelitian menggunakan data batas DAS Tallo diperoleh dari Batas DAS SK.304 Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2018 Tentang Penetapan Daerah Aliran Sungai, kemudian dibagi menjadi tiga zona wilayah morfologi hulu, tengah dan hilir DAS, langkah selanjutnya dengan tahapan pra pengolahan data dilakukan dengan mendownload lembar citra satelit landsat 8 OLI tahun 2014 dan tahun 2023, kemudian dilakukan koreksi radiometrik, penggabungan band dan pemotongan citra. Selanjutnya dilanjutkan dengan tahapan pengolahan data yaitu melakukan interpretasi citra dengan proses digitasi atau identifikasi secara manual pada citra landsat 8. Hasil interpretasi citra yang dilakukan menghasilkan peta penutupan lahan dan perubahan penutupan lahan tahun 2014 dan tahun 2023. Tahapan selanjutnya analisis data dilakukan untuk identifikasi kekeringan menggunakan metode *Normalized Difference Latent Heat Indeks* (NDLI), suhu permukaan lahan metode analisis *Land Surface Temperature* (LST) dan kerapatan vegetasi dilakukan metode analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI).

Selanjutnya dilakukan analisis korelasi untuk mengidentifikasi tingkat hubungan antara NDLI, LST, dan NDVI. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana keterkaitan antara tingkat kekeringan lahan dengan suhu permukaan serta kerapatan vegetasi, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai pengaruh kondisi vegetasi dan suhu terhadap dinamika kekeringan di wilayah penelitian.

Hasil interpretasi citra dan identifikasi tingkat kekeringan, kemudian dilakukan teknik overlay dengan menginput data peta perubahan penutupan lahan, peta indeks kekeringan dan peta Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Pola ruang kabupaten gowa, kabupaten maros, dan kota Makassar untuk menentukan arahan adaptasi dan mitigasi bencana kekeringan terhadap penggunaan lahan dengan mempertimbangkan kesesuaian fungsi kawasan dan pola ruang untuk menentukan skenario adaptasi rawan bencana kekeringan dengan melakukan arahan penggunaan lahan. Berikut proses penelitian ini dilakukan dengan aplikasi Sistem informasi geografis (SIG).



Gambar 3. Kerangka Alur Penelitian

2.4 Pengolahan Citra

Pengolahan data Citra Landsat 8 OLI tahun 2014 dan tahun 2023 dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

2.4.1 Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik dilakukan untuk mengoreksi citra landsat dari kesalahan atau gangguan yang disebabkan oleh atmosfer, sensor, dan kondisi pencahayaan saat

perekaman pada citra landsat, sehingga nilai reflektansi yang dihasilkan lebih akurat terhadap kondisi permukaan bumi (Jaya dkk., 2022). Koreksi ini dilakukan menggunakan model algoritma *Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (*FLAASH*) (chakouri dkk., 2020). Tahapan untuk koreksi *FLAASH*, kalibrasi radiometrik dilakukan terlebih dahulu, Kemudian menentukan titik tengah citra, tipe sensor, ukuran piksel, dan akuisisi data citra satelit yang tersedia dalam metadata dalam format MTL (Muna dkk., 2020).

FLAASH merupakan algoritma berdasarkan model transfer radiasi *MODTRAN 4* yang dapat memberikan efek atmosfer dengan lebih akurat (chakouri dkk., 2020). Model *MODTRAN 4* menggunakan sensor sudut elevasi dan rata-rata ketinggian permukaan, *MODTRAN 4* dapat memberikan informasi uap air dan aerosol langsung dari citra menggunakan sudut pandang sensor (Muna dkk., 2020). Nilai reflektansi dari citra yang dihasilkan nilai minimal 0 dan nilai maksimal 1 dengan menggunakan algoritma pada persamaan berikut (Muna dkk., 2020).

$$\rho = (b1 \leq 0) * 0 + (b1 \geq 10000) * 1 + (b1 > 0 \text{ and } b1 < 10000) * \text{float}(b1) / 10000$$

Keterangan:

ρ : Nilai Reflektansi Citra

$b1$: Band citra yang akan terkoreksi

Setelah citra satelit terkoreksi, kemudian dilakukan penggabungan band (*layer Stacking*) sesuai kebutuhan penelitian.

2.4.2 Memotong Citra (*Cropping*)

Pemotongan citra (*cropping*) dilakukan untuk memotong sesuai dengan batas wilayah penelitian, sehingga pengolahan data citra dilakukan dapat lebih efisien pada lokasi penelitian. Citra landsat yang akan dipotong ditumpang tindihkan dengan batas DAS Tallo yang telah ditentukan sebelumnya.

2.4.3 Klasifikasi Penutupan Lahan

Klasifikasi penutupan lahan menggunakan band 6, 5, dan 4 pada citra satelit landsat 8. Band 6, 5 dan 4 memberikan variasi informasi yang lebih beragam, mencakup pada band gelombang pendek inframerah, inframerah dekat, dan sinar tampak yang sesuai untuk mendeteksi vegetasi penutupan lahan. Susunan kombinasi band 6 (SWIR-1) diletakkan pada red, band 5 (NIR) green, dan band 4 (red) diletakkan pada blue menghasilkan kenampakan visual mendekati warna alami (Kosasih dkk., 2019).

Interpretasi citra landsat 8 OLI/TIRS tahun 2014 dan tahun 2023 dilakukan dengan proses klasifikasi tidak terbimbing dengan cara digitasi atau identifikasi secara manual yang ditetapkan berdasarkan pola dan karakteristik (rona, warna, bentuk dan tekstur) pada citra tersebut, untuk menentukan kategori kelas penggunaan lahan dilakukan berdasarkan Direktur Jenderal Planologi dan Tata Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Direktorat IPSDH, 2015).

2.4.4 Uji Akurasi Hasil Interpretasi Citra

Uji akurasi interpretasi citra digunakan untuk mengetahui sejauh mana keakuratan hasil interpretasi citra yang telah dilakukan. Uji akurasi merupakan perbandingan antara dua data hasil interpretasi citra dengan kondisi lapangan. Metode perhitungan nilai akurasi hasil interpretasi citra untuk menguji besarnya akurasi menggunakan kappa *accuracy confusion matrix* (Fultriasantri dan Fajrin, 2023). Uji akurasi ini digunakan sebagai langkah awal dalam mendeskripsikan perbedaan dan teknik analisis statistik untuk menilai akurasi peta (Rijal dkk., 2016). Pada *confusion matrix*, data hasil interpretasi citra dan data hasil pengecekan lapangan disusun dalam sebuah tabel perbandingan persentase. Fultriasantri dan Fajrin (2023) mendeskripsikan tabel *confusion matrix*, setiap baris merepresentasikan hasil klasifikasi, sedangkan kolom merepresentasikan data referensi/hasil survei lapangan.

Penentuan jumlah sampel untuk validasi uji akurasi interpretasi citra dilakukan berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (2014) dengan metode *purposive sampling* yang disesuaikan dengan distribusi kelas penggunaan lahan serta mempertimbangkan tingkat aksesibilitas lapangan. Pemilihan titik sampel mengikuti prinsip keterwakilan dengan memperhatikan kemudahan akses ke lokasi, kondisi topografi, serta keterjangkauan terhadap transportasi dan waktu pelaksanaan survei. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa sampel yang diambil dapat mewakili setiap kelas penutupan lahan. Hasil tingkat keakuratan interpretasi citra yang dapat diterima adalah proses klasifikasi yang memiliki nilai akurasi kappa lebih atau sama dengan 85% atau koefisien 0,85. (Simamora dkk., 2015).

Kappa akurasi adalah akurasi yang mempertimbangkan semua elemen yang ada pada *confusion matrix*. Akurasi kappa sering dianggap paling relevan karena mencakup *ommission* dan *commission* error-nya, saat ini akurasi yang dianjurkan adalah akurasi kappa, karena *overall accuracy* secara umum masih *overestimate*. Akurasi kappa ini sering juga disebut dengan indeks kappa (Jaya dkk., 2022). Secara matematis akurasi kappa disajikan sebagai berikut:

$$Kappa(k) = \frac{N \sum X_n - \sum X_{n+} X_{+n}}{N^2 - \sum X_{n+} X_{+n}} \times 100$$

Dimana: N = total data (piksel) yang diuji
 X_n = nilai diagonal matriks baris ke-n dan kolom ke-n
 X_{n+} = jumlah piksel dalam baris ke-n
 X_{+n} = jumlah piksel dalam kolom ke-n

2.5 Analisis Data

2.5.1 Analisis Perubahan Penutupan Lahan

Perubahan penutupan lahan dilakukan menggunakan data hasil klasifikasi dari interpretasi citra secara manual tahun 2014 dan tahun 2023 yang telah dilakukan uji akurasi. Kemudian dilakukan teknik overlay untuk melihat dan membandingkan perbedaan luasan dan perubahan pada masing-masing penutupan lahan pada tahun

2014 dan tahun 2023, yang diolah pada insert pivot tabel di microsoft excel pada data atribut hasil overlay dalam format .dbf. teknik overlay dilakukan menggunakan aplikasi Sistem Informasi Geografis.

2.5.2 Analisis NDVI

Analisis NDVI dapat mengukur seberapa besar fraksi radiasi aktif menilai kandungan klorofil untuk proses fotosintesis yang diserap oleh vegetasi (Rafsanjani dan Papilaya, 2024). Vegetasi hijau memiliki karakteristik spektral berupa penyerapan yang kuat pada band spektral merah (*RED*) serta reflektansi yang tinggi pada band spektral inframerah dekat (*NIR*). Oleh karena itu, berbagai indeks vegetasi diformulasikan melalui kombinasi nilai reflektansi pada kedua pita tersebut. Informasi mengenai penyerapan dan pantulan radiasi aktif untuk proses fotosintesis selama periode tertentu selanjutnya digunakan untuk menggambarkan kondisi dan kesehatan vegetasi pada area kajian (Sruthi dan Aslam, 2015). Penilaian tersebut dilakukan melalui perhitungan NDVI untuk setiap wilayah pengamatan.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Di mana *NIR* adalah nilai reflektansi pada pita inframerah dekat dan *RED* adalah nilai reflektansi pada pita merah. Nilai NDVI menggambarkan tingkat kehijauan dan kesehatan vegetasi dengan rentang nilai dari -1 hingga 1. Semakin tinggi nilai NDVI, semakin baik kondisi dan kerapatan vegetasi pada suatu area (Octaviani dkk., 2025). klasifikasi NDVI, dilakukan proses penentuan ambang batas untuk membedakan area yang memiliki vegetasi dari area lahan non vegetasi. Tingkat kerapatan vegetasi NDVI dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 2. Klasifikasi NDVI

Kelas	Index	Tingkat Kehijauan
1	-1,0 < NDVI < -0,03	Lahan Non Vegetasi
2	0,03 < NDVI < 0,15	Vegetasi sangat rendah
3	0,15 < NDVI < 0,25	Vegetasi rendah
4	0,26 < NDVI < 0,35	Vegetasi Sedang
5	0,36 < NDVI < 1,0	Vegetasi Tinggi

Sumber: (Tommy dkk., 2023)

2.5.3 Analisis NDLI

NDLI merupakan analisis yang digunakan untuk mengetahui kondisi kelembapan tanah dan kondisi ketersediaan air pada permukaan lahan untuk memantau kekeringan. Nilai indeks NDLI dihitung menggunakan data citra satelit landsat 8 diambil dari band spektral (3), (4) dan (6). Band 3 mengidentifikasi kepekaan klorofil yang sehat terhadap air maupun pada vegetasi, karena kandungan klorofil banyak menyerap cahaya pada spektral yang dimiliki band 3 dengan nilai spektral 0.533 - 0.590 μm . Kemudian pada

Band 4 dengan panjang gelombang 0.636 - 0.673 μm memberikan karakteristik warna spektral kepekaan tinggi terhadap tutupan vegetasi dan tidak terlalu peka terhadap air. Hal ini mencerminkan band 4 untuk mengidentifikasi kondisi lahan bervegetasi dan lahan terbuka, kemudian mencerminkan kondisi vegetasi yang mengalami kekurangan kandungan air/kekeringan. Sedangkan pada band 6 dengan panjang gelombang 1.566 - 1.651 μm panjang gelombang potensial yang peka terhadap kadar air, yang dapat menunjukkan status kadar air pada tanaman dan tanah. Band 6 sensitif terhadap kadar air pada daun dan tanah karena serapan pada panjang gelombang ini bergantung pada kadar air objek tertentu. Reaksi pada band 6 akan berkurang ketika kadar air tinggi. kemudian, band 6 dapat membedakan antara tanah kering dan tanah yang kedap air (Liou dkk., 2018).

Berdasarkan panjang gelombang pada spektrum band 3, 4 dan band 6, indeks pada analisis NDLI dapat memperkirakan ketersediaan air pada vegetasi dan permukaan tanah untuk mengukur aliran energi panas pada permukaan bumi. Analisis ini dapat digunakan pada persamaan berikut (Liou dkk., 2018).

$$NDLI = \frac{\rho \text{ Band 3} - \rho \text{ Band 4}}{\rho \text{ Band 3} + \rho \text{ Band 4} + \rho \text{ Band 6}}$$

Keterangan:

ρ Band 3 = Surface Reflektansi Band 3 (Hijau)

ρ Band 4 = Surface Reflektansi Band 4 (Red)

ρ Band 6 = Surface Reflektansi Band 6 (SWIR Inframerah)

Setelah nilai indeks NDLI didapatkan, kemudian dilakukan klasifikasi *Standardized Precipitation Evapotranspiration Index* (SPEI), dibuat untuk menghitung *Precipitation and Potential Evapotranspiration* (PET) dalam mengukur tingkat kekeringan. SPEI menangkap dampak utama peningkatan suhu terhadap kebutuhan air (Sergio, M dan Serrano, 2014). Klasifikasi nilai indeks SPEI pada tingkat kekeringan dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 3. Indeks acuan presipitasi dan evapotranspirasi (SPEI)

Range Index	Kelas
1	Amat sangat basah
0.9 sampai 0.5	Sangat basah
0.5 sampai 0.1	Basah
0.1 sampai 0	Agak Basah
0 sampai -0.1	Agak Kering
-0.1 sampai -0.5	Kering
-0.5 sampai -0.9	Sangat Kering
-1	Amat sangat kering

Sumber: (Zhao dkk., 2023).

Hasil NDLI divalidasi menggunakan interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW) dari data curah hujan dan suhu MERRA 2 NASA. Data diambil sebanyak 28 titik dengan jarak antar titik sejauh 5 km. Data suhu dan curah hujan MERRA 2 NASA digunakan

untuk mengetahui suhu maksimum dan minimum serta curah hujan maksimum dan minimum di wilayah DAS Tallo.

2.5.4 Analisis LST

Analisis LST dilakukan dengan memanfaatkan kanal termal pada citra Landsat 8 *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) (Yu dkk., 2014). LST digunakan untuk menggambarkan kondisi termal permukaan lahan yang berkaitan erat dengan tingkat kelembapan tanah, ketersediaan air, serta respon vegetasi terhadap kekeringan (Müllerová dan Šíffel, 2025). Tahapan dalam analisis LST sebagai berikut:

a. Konversi digital number (DN) menjadi *spectral radiance* ($L\lambda$)

Konversi DN menjadi nilai spektral radian menggunakan informasi yang disediakan oleh band thermal Landsat 8 OLI Band 10 dengan persamaan sebagai berikut:

$$L\lambda = ML Q_{cal} + AL$$

Di mana, $L\lambda$ adalah TOA *Spectral Radiance*, ML adalah *Band-specific multiplicative* yang didapat dari metadata nilai (RADIANCE_MULT_BAND_10 Landsat 8), AL adalah *Band-specific additive* yang didapat dari metadata nilai (RADIANCE_ADD_BAND_10 Landsat 8), Q_{cal} adalah *Digital Number*.

b. Konversi Radian Spektral ke *Brightness Temperature*

Setelah nilai radian spektral didapatkan, selanjutnya dikonversi ke nilai suhu kecerahan (*brightness temperature*). Perlu diingat bahwa hasil suhu ini masih dalam satuan Kelvin yang didapatkan dengan menerapkan algoritma Planck seperti yang ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut:

$$BT = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda}\right) + 1} - 273,15$$

Di mana, BT mewakili *brightness temperature* dalam Kelvin. Nilai ini didapatkan dari radiansi spektral ($L\lambda$), yang kemudian dikonversi menggunakan dua konstanta spesifik dari metadata Landsat 8: K1_CONSTANT_BAND_10 (nilai konstanta K1) dan K2_CONSTANT_BAND_10 (nilai konstanta K2) dan nilai 273,15 adalah konstanta konversi Kelvin ke Celcius.

c. Perhitungan *Proportional vegetation* (PV)

Penentuan nilai emissivitas permukaan bumi. Hasil nilai NDVI berasal dari band *multispectral* yaitu kombinasi Band 5 dan Band 4 sehingga didapatkan nilai NDVI maksimum dan minimum. Dengan persamaan PV dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut.

$$PV = \frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})}$$

d. Emisivitas Permukaan

Berdasarkan hasil dari PV ditambahkan dalam persamaan untuk mencari nilai emmisivitas permukaan bumi. Untuk menghitung nilai emmisivitas digunakan persamaan sebagai berikut.

$$(e) \text{ emissivity} = 0.004 P_v + 0.986$$

e. Perhitungan LST

Perhitungan LST berdasarkan BT dan emmisivitas permukaan. LST menghasilkan nilai suhu dalam satuan Kelvin yang akan dikonversi menjadi celcius. Perhitungan LST dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$LST = \frac{BT}{1 + \left(\frac{\lambda BT}{C_2}\right) \ln(e)}$$

Di mana, BT merupakan temperatur kecerahan, λ merupakan panjang gelombang radiasi, C_2 dengan nilai 1438 μm dan e merupakan nilai emisivitas.

2.5.5 Uji Korelasi

Analisis korelasi dilakukan untuk mengidentifikasi hubungan antara tingkat kekeringan, kerapatan vegetasi, dan suhu permukaan lahan (Ilmi dkk., 2025). Uji yang digunakan adalah korelasi *rank Spearman*, yang sesuai untuk data *non-linear* maupun berskala ordinal, serta didukung oleh visualisasi *scatterplot*. Perhitungan koefisien korelasi Spearman (ρ) dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut (Genovese dkk., 2025).

$$\rho = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Di mana, d_i merupakan selisih peringkat antara kedua variabel dan n adalah jumlah pasangan data. Nilai ρ digunakan untuk menggambarkan arah dan kekuatan hubungan antar variabel; nilai mendekati +1 menunjukkan hubungan positif yang kuat, nilai mendekati -1 menunjukkan hubungan negatif yang kuat, sedangkan nilai yang mendekati 0 mengindikasikan hubungan yang lemah atau tidak signifikan.

Sementara itu, *scatterplot* digunakan untuk mengamati pola hubungan secara visual, apakah cenderung meningkat (positif), menurun (negatif), atau tidak teratur. (Suspidayanti dkk., 2019).

2.5.6 Arahan Penggunaan Lahan

Arahan penggunaan lahan digunakan untuk memberikan arahan pemanfaatan lahan pada wilayah DAS Tallo. Dilihat dari letak DAS Tallo memiliki wilayah yang strategis sangat berpengaruh signifikan terhadap kondisi ekosistem dan lingkungan Kota Makassar (Wahyuni dkk., 2022). Arahan penggunaan lahan ditentukan dengan memperhatikan tingkat kekeringan (agak kering Kering, sangat kering dan sangat amat

kering), kesesuaian tata ruang dengan fungsi kawasan. Kesesuaian penggunaan lahan didasarkan peruntukan fungsi kawasan yang ditetapkan Peraturan Pemerintah No.26 Tahun 2008 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah yaitu, kawasan lindung dan kawasan budidaya. Dalam hal ini perubahan iklim dan penggunaan lahan pada suatu wilayah memerlukan pertimbangan mengenai aspek perencanaan wilayah yang berkaitan dengan fungsi atau penggunaan lahan sebelum dan sesudah perubahan, dan mana kemungkinan kerusakan lahan perlu dipertimbangkan (Rahmadi dkk., 2023).

Analisis arahan penggunaan lahan dilakukan dengan metode overlay untuk menentukan skenario arahan penggunaan lahan berdasarkan skenario adaptasi kekeringan pada wilayah DAS Tallo. Analisis *overlay* dilakukan pada aplikasi Sistem Informasi Geografis, kemudian dilakukan insert pivot tabel pada microsoft excel.

Tabel 4. Kesesuaian Fungsi Kawasan dan Pola Ruang

Fungsi Kawasan	Pola Ruang	KWS_RUANG	Kodefikasi KWS_RUANG
Hutan Lindung	Kawasan Lindung	Hutan Lindung	RL
	Kawasan Budidaya	Hutan Lindung	
Hutan Produksi, Hutan Produksi Terbatas dan Hutan Produksi yang dapat di Konversi	Kawasan Lindung	HP, HPT, HPK	RP
	Kawasan Budidaya	HP, HPT, HPK	
Kawasan Konservasi	Kawasan Lindung	Kawasan Konservasi	RK
	Kawasan Budidaya	Kawasan Konservasi	
Areal Penggunaan Lain	Kawasan Lindung	APL Lindung	PL
	Kawasan Budidaya	APL Budidaya	PB

Sumber: PERDIRJEN PDASHL, 2018.

Penentuan arahan adaptasi kekeringan dilakukan berdasarkan penutupan lahan pada daerah DAS Tallo yang mengalami lahan kritis dengan hasil identifikasi tingkat kekeringan agak kering, kering, sangat kering dan sangat amat kering. Penentuan arahan penggunaan lahan didasarkan pada kesesuaian penggunaan lahan pada RTRW pola ruang dan fungsi kawasan hutan.

Penyusunan data spasial arahan penggunaan lahan dilakukan mengacu pada Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian DAS dan Hutan Lindung No. P.8 tahun 2018 Tentang Petunjuk Teknis Internalisasi Rencana Pengelolaan DAS Ke Dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (PDASHL, 2018). Tahapan ini dilakukan setelah proses *overlay* dilakukan yang nantinya diisi dengan kodefikasi pola RHL Rekomendasi Arahan penggunaan lahan yang dibagi berdasarkan morfologi DAS pada bagian Hilir, tengah dan hulu pada kondisi lahan yang kritis dilakukan sebagai berikut.

Tabel 5. Tabel Kodefikasi Pola RHL

Kelas Kekeringan	Morfologi DAS		
	Hilir	Tengah	Hulu
Agak Kering	VEG II, ST III	VEG II, ST II	VEG II
Kering	VEG II, ST III	VEGII, ST II	VEG II, ST I
Sangat Kering, Sangat Amat Kering	VEG II, ST III	VEG II, ST II	VEG I, ST I

Sumber: PERDIRJEN PDASHL, 2018.

Setelah *overlay* dilakukan, diperoleh pola arahan (ST I, ST II, ST III, VEG I, VEG II, VEG III, XXX), dengan melihat kombinasi kode fungsi kawasan dan pola ruang (RL, RK, RP, PL, PB), maka dapat ditentukan rekomendasi arahan penggunaan lahan yang akan dilaksanakan berupa vegetatif dan sipil teknis.