

# Analisis Perubahan Tata Guna Lahan Dan Kerentanan Ekosistem DAS Siwa, Sulawesi Selatan

Budi Utomo Putra Azis<sup>1</sup>, Iriansa<sup>2</sup>, Agsa Dewantara<sup>3</sup>

*Universitas Teknologi Sulawesi<sup>1</sup>, Universitas Cokroaminoto Palopo<sup>2</sup>, Universitas Gadjah Mada<sup>3</sup>*  
[bd.utama88@gmail.com](mailto:bd.utama88@gmail.com)<sup>1</sup>, [iriansa99@gmail.com](mailto:iriansa99@gmail.com)<sup>2</sup>, [agshadewantaram2m@gmail.com](mailto:agshadewantaram2m@gmail.com)<sup>3</sup>

**Corresponding Author:** Budi Utomo Putra Aziz, Email: [bd.utama88@gmail.com](mailto:bd.utama88@gmail.com)

## ABSTRACT

The Siwa Watershed (DAS Siwa) in South Sulawesi is a strategic ecosystem spanning Wajo, Sidrap, and Luwu Regencies. Uncontrolled land use changes in this area have the potential to reduce ecological carrying capacity and increase ecosystem vulnerability. This study aims to analyze land use changes and ecosystem vulnerability levels in DAS Siwa during the 2015–2025 period using a descriptive quantitative-spatial approach based on Geographic Information Systems (GIS). Data used include multitemporal land use imagery, rainfall data, topographic maps, and administrative boundaries. Analysis shows that the total area of DAS Siwa is 26,866.85 ha, dominated by forest (70.66%) but experiencing deforestation of 552.99 ha (24.37%) during the observation period. Mixed plantations increased significantly by 389.70 ha (17.18%), while settlements and agricultural land also expanded. Ecosystem vulnerability was assessed through a composite index considering land change, rainfall intensity, slope, and vegetation cover. Spatial overlay results identified high vulnerability zones in the central and upstream parts of the watershed, coinciding with active deforestation and high rainfall areas. These findings are expected to serve as a scientific basis for sustainable and ecosystem-based management of DAS Siwa.

## KEYWORDS

Siwa Watershed; land use; ecosystem vulnerability; GIS; South Sulawesi

## ARTICLE DOI:

<https://doi.org/10.53696/venn.v5i4.526>

## A. Pendahuluan

Daerah aliran sungai (DAS) merupakan satuan wilayah ekologis yang berfungsi sebagai penampung, penyimpan, dan penyalur air hujan menuju outlet tertentu. Dalam sistem ini, kondisi tutupan lahan berpengaruh besar terhadap keseimbangan hidrologi dan ekologis DAS. Perubahan tata guna lahan dapat mengurangi infiltrasi, meningkatkan limpasan permukaan, dan menimbulkan tekanan terhadap kualitas lingkungan serta keberlanjutan ekosistem (Maryono, 2018; Asdak, 2020).

DAS Siwa di Sulawesi Selatan merupakan wilayah yang melintasi Kabupaten Wajo, Sidrap, dan Luwu, sehingga dinamika pemanfaatan lahannya sangat beragam dan dipengaruhi oleh aktivitas manusia di beberapa wilayah administratif. Dalam konteks pengelolaan lingkungan, perubahan tata guna lahan pada DAS seperti ini penting dikaji karena dapat memengaruhi kestabilan lahan, daya dukung ekologis, dan tingkat kerentanan lingkungan (Kementerian LHK, 2021).

Selain perubahan tata guna lahan, curah hujan juga menjadi faktor penting yang memengaruhi kerentanan ekosistem DAS. Curah hujan yang tinggi pada wilayah dengan tutupan lahan yang telah mengalami perubahan dapat memperbesar risiko limpasan, erosi, dan gangguan fungsi ekologis (Pratiwi et al., 2019). Kondisi ini sangat relevan dengan DAS Siwa yang secara geografis berada di kawasan dengan intensitas curah hujan tinggi, sementara tutupan hutannya terus mengalami tekanan akibat ekspansi perkebunan, permukiman, dan pertanian. Kombinasi antara deforestasi yang berlangsung secara gradual dan pola curah hujan yang tinggi menciptakan kondisi rentan yang berpotensi memicu bencana ekologis, seperti banjir bandang, tanah longsor, dan sedimentasi sungai

yang dapat mengancam kehidupan masyarakat di sekitar DAS. Ironisnya, hingga saat ini belum tersedia kajian ilmiah yang secara khusus memetakan tingkat kerentanan ekosistem DAS Siwa secara spasial dengan mempertimbangkan interaksi antara perubahan tata guna lahan dan dinamika curah hujan. Ketiadaan data dasar ini menjadi kelemahan serius dalam pengambilan kebijakan pengelolaan DAS, karena intervensi konservasi tidak dapat diarahkan secara tepat sasaran tanpa mengetahui zona-zona yang paling rentan. Karena itu, analisis kerentanan ekosistem yang mempertimbangkan hubungan antara perubahan tata guna lahan dan pola curah hujan menjadi sangat mendesak untuk dilakukan agar hasilnya dapat menjadi landasan ilmiah yang konkret bagi pengelolaan DAS Siwa yang berkelanjutan.

Pendekatan spasial menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) memungkinkan analisis perubahan lahan secara multitemporal sekaligus pemetaan zona kerentanan ekosistem secara lebih rinci. Melalui overlay data tata guna lahan, curah hujan, dan parameter biofisik lain, penelitian dapat mengidentifikasi wilayah yang paling rentan terhadap degradasi ekologis ([Wahyunto et al., 2019](#)). Sejumlah penelitian terdahulu telah membuktikan efektivitas pendekatan ini. Mukhlisa et al. (2023) menerapkan teknik skoring dan weighted overlay berbasis ArcGIS untuk menaksir tingkat kerawanan longsor di Kecamatan Camba, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan, dan berhasil mengklasifikasikan zona kerawanan menjadi empat tingkat berdasarkan parameter kemiringan lereng, curah hujan, dan tutupan lahan. [Daud \(2026\)](#) menggunakan citra Sentinel-2 multitemporal dan analisis overlay berbasis SIG untuk mengkaji dinamika spasiotemporal tutupan lahan Sub-DAS Minraleng, Sulawesi Selatan, dan menemukan bahwa penurunan tutupan hutan secara konsisten mengancam keberlanjutan fungsi hidrologi DAS meskipun kualitas DAS masih dalam kategori baik. Pada skala yang lebih luas, [Ridwansyah et al. \(2020\)](#) memadukan SIG dengan model hidrologi untuk menganalisis dampak perubahan penggunaan lahan dan perubahan iklim terhadap limpasan permukaan dan air tanah di DAS Cimanuk, Indonesia, dan mengonfirmasi bahwa deforestasi secara signifikan meningkatkan koefisien limpasan dan kerentanan hidrologi DAS. [Setyawan et al. \(2023\)](#) juga mengintegrasikan USLE dan SIG untuk menilai bahaya erosi dan kekritisan lahan di Sub-DAS Sampean Hulu, Jawa Timur, dengan menyimpulkan bahwa alih fungsi lahan pertanian dan perkebunan menjadi faktor pendorong utama degradasi lahan. Berbagai penelitian tersebut menegaskan bahwa pendekatan SIG berbasis overlay dan skoring multikriteria merupakan metode yang andal untuk analisis kerentanan ekosistem DAS. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perubahan tata guna lahan dan kerentanan ekosistem di DAS Siwa, Sulawesi Selatan, sebagai dasar ilmiah pengelolaan DAS yang berkelanjutan.

## B. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-spasial deskriptif. Pendekatan ini dipilih karena tujuan penelitian adalah menganalisis perubahan tata guna lahan dan menilai kerentanan ekosistem berdasarkan data geospasial dan curah hujan. Metode analisis spasial diterapkan untuk menghasilkan peta distribusi perubahan lahan dan zonasi kerentanan ekosistem secara visual dan kuantitatif ([Prahasta, 2018](#)).

Lokasi penelitian berada di DAS Siwa, Sulawesi Selatan, yang mencakup wilayah Kabupaten Wajo, Sidrap, dan Luwu dengan total luas 26.866,85 ha. Analisis multitemporal dilakukan untuk periode 2015–2025 dengan beberapa pertimbangan. Pertama, tahun 2015 merupakan titik awal tersedianya data tutupan lahan dari citra Landsat 8 OLI dengan resolusi dan akurasi yang memadai untuk analisis perubahan lahan pada skala DAS, sekaligus bertepatan dengan dimulainya implementasi kebijakan moratorium izin baru perkebunan kelapa sawit di Indonesia yang berpotensi memengaruhi dinamika tata guna lahan di Sulawesi Selatan. Kedua, rentang sepuluh tahun (2015–

2025) dipilih karena dinilai cukup untuk menangkap perubahan tata guna lahan yang signifikan dan terukur, sebagaimana yang direkomendasikan dalam berbagai studi perubahan lahan multitemporal di kawasan tropis (Daud, 2026; Ridwansyah et al., 2020). Ketiga, ketersediaan data curah hujan dari stasiun BMKG pada periode tersebut relatif lengkap dan konsisten, sehingga analisis korelasi antara perubahan lahan dan intensitas curah hujan dapat dilakukan dengan tingkat keandalan yang tinggi. Dengan demikian, rentang 2015–2025 dipandang sebagai periode yang representatif untuk menggambarkan tren perubahan tata guna lahan dan implikasinya terhadap kerentanan ekosistem DAS Siwa secara akurat.

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: (1) data tata guna lahan multitemporal tahun 2015 dan 2025 yang bersumber dari analisis citra satelit; (2) data curah hujan dari stasiun BMKG terdekat; (3) peta batas DAS dan sub-DAS dari Balai Pengelolaan DAS; (4) data DEM/topografi dari DEMNAS Badan Informasi Geospasial (BIG); serta (5) data administratif wilayah dari BIG.

Analisis dilakukan melalui beberapa tahap. Pertama, klasifikasi tata guna lahan, yaitu mengelompokkan citra atau data spasial tata guna lahan ke dalam kelas-kelas relevan, seperti hutan, perkebunan campuran, pertanian, permukiman, tambak, lahan terbuka, dan perairan. Kedua, analisis perubahan lahan dilakukan dengan membandingkan luas setiap kelas lahan antarperiode (2015–2025) untuk menghitung besaran dan arah perubahan. Ketiga, analisis curah hujan dilakukan secara deskriptif untuk melihat pola rata-rata, musiman, dan intensitas hujan yang memengaruhi respons hidrologi DAS. Keempat, penyusunan indeks kerentanan ekosistem dilakukan dengan pemberian skor dan bobot pada parameter-parameter seperti perubahan lahan, curah hujan, kemiringan lereng, dan tutupan vegetasi, yang kemudian digabungkan menjadi indeks komposit kerentanan. Kelima, overlay spasial dilakukan untuk menghasilkan peta zonasi kerentanan ekosistem berdasarkan gabungan semua parameter tersebut.

Tahap kerja penelitian meliputi: (1) menyiapkan data spasial dan nonspasial; (2) mengolah dan mengklasifikasikan data tata guna lahan; (3) menganalisis pola curah hujan; (4) menyusun parameter dan skor kerentanan; (5) melakukan overlay dan klasifikasi zonasi kerentanan; (6) menafsirkan hasil dan menyusun rekomendasi pengelolaan DAS.

### C. Hasil dan Pembahasan

Perubahan Tata Guna Lahan DAS Siwa (2015–2025) Hasil analisis spasial menunjukkan bahwa DAS Siwa mengalami perubahan tutupan lahan yang signifikan selama periode 2015 hingga 2025. Tabel 1 menyajikan perbandingan luas setiap kelas tutupan lahan pada kedua tahun pengamatan.

**TABEL 1.** Perubahan Tata Guna Lahan DAS Siwa Tahun 2015 dan 2025

| No | Tutupan Lahan       | Tahun 2015 |                | Tahun 2025 |                | Luas Perubahan (ha) | Persentase Perubahan (%) |
|----|---------------------|------------|----------------|------------|----------------|---------------------|--------------------------|
|    |                     | Luas (ha)  | Persentase (%) | Luas (ha)  | Persentase (%) |                     |                          |
| 1  | Hutan               | 19.536,46  | 72,72%         | 18.983,47  | 70,66%         | 552,99              | 24,37%                   |
| 2  | Lahan Terbuka       | 194,53     | 0,72%          | 194,76     | 0,72%          | 0,23                | 0,01%                    |
| 3  | Perairan (Sungai)   | 291,66     | 1,09%          | 369,26     | 1,37%          | 77,60               | 3,42%                    |
| 4  | Perkebunan Campuran | 5.556,82   | 20,68%         | 5.946,52   | 22,13%         | 389,70              | 17,18%                   |
| 5  | Permukiman          | 163,09     | 0,61%          | 215,23     | 0,80%          | 52,14               | 2,30%                    |
| 6  | Pertanian           | 594,14     | 2,21%          | 641,67     | 2,39%          | 47,53               | 2,09%                    |

| No                         | Tutupan Lahan | Tahun 2015       |                | Tahun 2025       |                | Luas Perubahan (ha) | Persentase Perubahan (%) |
|----------------------------|---------------|------------------|----------------|------------------|----------------|---------------------|--------------------------|
|                            |               | Luas (ha)        | Persentase (%) | Luas (ha)        | Persentase (%) |                     |                          |
| 7                          | Tambak        | 530,15           | 1,97%          | 515,96           | 1,92%          | 14,20               | 0,63%                    |
| <b>Total Luas DAS Siwa</b> |               | <b>26.866,85</b> | <b>100,00%</b> | <b>26.866,85</b> | <b>100,00%</b> | <b>1.134,39</b>     | <b>50,00%</b>            |

Sumber: Analisis Data Spasial, 2025

Hutan masih mendominasi tutupan lahan DAS Siwa dengan proporsi 70,66% (18.983,47 ha) pada tahun 2025, namun mengalami penurunan luas sebesar 552,99 ha (24,37% dari total perubahan) dibandingkan tahun 2015 (19.536,46 ha atau 72,72%). Penurunan ini mengindikasikan adanya deforestasi yang perlu

diwaspadai karena hutan berperan penting sebagai penyangga ekologis DAS.

Perkebunan campuran menunjukkan peningkatan paling signifikan, yaitu dari 5.556,82 ha (20,68%) pada tahun 2015 menjadi 5.946,52 ha (22,13%) pada tahun 2025, dengan pertambahan luas 389,70 ha (17,18% dari total perubahan). Hal ini mengindikasikan ekspansi pertanian berbasis komoditas yang kemungkinan besar memanfaatkan lahan bekas hutan atau lahan marginal. Permukiman turut meningkat dari 163,09 ha menjadi 215,23 ha (+52,14 ha), serta pertanian dari 594,14 ha menjadi 641,67 ha (+47,53 ha), mencerminkan pertumbuhan penduduk dan kebutuhan pangan yang mendorong alih fungsi lahan.

Sebaliknya, luas tambak mengalami sedikit penurunan dari 530,15 ha menjadi 515,96 ha (-14,20 ha), kemungkinan akibat penurunan produktivitas atau konversi ke penggunaan lain. Perairan (sungai) justru bertambah luas dari 291,66 ha menjadi 369,26 ha (+77,60 ha), yang dapat diinterpretasikan sebagai dampak peningkatan sedimentasi dan perluasan sempadan sungai akibat deforestasi di bagian hulu.

Curah hujan di DAS Siwa bervariasi antara 1.800–3.200 mm/tahun berdasarkan data stasiun BMKG Wajo dan sekitarnya. Pola curah hujan menunjukkan dua musim hujan dalam setahun dengan puncak pada bulan Desember–Februari dan April–Juni. Intensitas curah hujan yang tinggi, terutama pada wilayah hulu DAS, berpotensi meningkatkan limpasan permukaan apabila tidak didukung tutupan vegetasi yang memadai.

Korelasi antara deforestasi dan peningkatan limpasan permukaan menjadi perhatian utama dalam konteks DAS Siwa. Wilayah-wilayah yang mengalami alih fungsi lahan dari hutan menjadi perkebunan atau permukiman cenderung memiliki koefisien limpasan yang lebih tinggi, sehingga risiko banjir dan erosi semakin besar pada musim hujan. Analisis spasial menunjukkan bahwa zona rawan erosi sebagian besar terkonsentrasi di bagian tengah dan hulu DAS yang bertopografi bergelombang hingga curam.

Kerentanan ekosistem DAS Siwa dinilai menggunakan indeks komposit yang menggabungkan empat parameter utama: perubahan tata guna lahan, intensitas curah hujan, kemiringan lereng, dan tutupan vegetasi. Setiap parameter diberi skor dan bobot sesuai dengan tingkat pengaruhnya terhadap degradasi ekologis (Tabel 2).

**TABEL 2.** Parameter dan Skor Kerentanan Ekosistem DAS Siwa

| Parameter                 | Indikator                                      | Bobot | Skor Kerentanan | Nilai |
|---------------------------|------------------------------------------------|-------|-----------------|-------|
| Perubahan Tata Guna Lahan | Alih fungsi hutan menjadi pertanian/permukiman | 30%   | Tinggi          | 3     |
| Perubahan Tata Guna Lahan | Perluasan perkebunan campuran                  | 25%   | Sedang          | 2     |
| Curah Hujan               | Intensitas tinggi (>2.500 mm/tahun)            | 25%   | Tinggi          | 3     |
| Kemiringan Lereng         | Lereng curam (>25%)                            | 10%   | Tinggi          | 3     |
| Tutupan Vegetasi          | Penurunan kerapatan vegetasi                   | 10%   | Sedang          | 2     |

*Sumber: Analisis Data, 2025*

Hasil overlay spasial mengidentifikasi tiga zona kerentanan ekosistem di DAS Siwa. Zona kerentanan rendah mencakup wilayah hulu yang masih berhutan lebat dengan kemiringan lereng moderat. Zona kerentanan sedang meliputi kawasan transisi antara hutan dan perkebunan campuran di bagian tengah DAS. Zona kerentanan tinggi terkonsentrasi di bagian tengah dan sebagian hulu yang mengalami deforestasi aktif, memiliki curah hujan tinggi, dan bertopografi curam.

Perubahan tutupan lahan dari hutan menjadi perkebunan campuran dan permukiman terbukti menjadi faktor dominan yang meningkatkan kerentanan ekosistem DAS Siwa. Kerentanan yang tinggi pada zona-zona tersebut mengindikasikan perlunya intervensi pengelolaan berupa rehabilitasi lahan, penghijauan, dan penerapan sistem agroforestri untuk menjaga keseimbangan ekologis DAS.

Temuan penelitian ini memiliki implikasi penting bagi pengelolaan DAS Siwa secara berkelanjutan. Deforestasi yang terus berlangsung, meskipun dalam skala yang relatif terbatas, perlu ditangani melalui kebijakan moratorium alih fungsi lahan hutan dan pengawasan ketat terhadap ekspansi perkebunan. Peningkatan luas permukiman dan pertanian di kawasan DAS harus diimbangi dengan penerapan teknik konservasi lahan, seperti terasering, penanaman tanaman penutup, dan pembuatan bangunan sipil teknis penahan erosi.

Dari perspektif tata kelola, pengelolaan DAS Siwa menghadapi tantangan koordinasi lintas kabupaten (Wajo, Sidrap, dan Luwu) yang secara administratif berbeda namun terikat dalam satu kesatuan ekosistem. Tantangan serupa juga ditemukan dalam studi [Brontowiyono et al. \(2022\)](#) pada Sub-DAS Opak, Yogyakarta, yang menunjukkan bahwa fragmentasi kewenangan administratif lintas wilayah menjadi hambatan utama dalam pengendalian kualitas air dan pengelolaan tutupan lahan secara terpadu. Penelitian tersebut merekomendasikan pembentukan forum koordinasi DAS lintas wilayah sebagai prasyarat efektivitas kebijakan konservasi.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa zona kerentanan tinggi di DAS Siwa sebagian besar berimpit dengan kawasan yang mengalami alih fungsi lahan aktif dan tekanan curah hujan tinggi, sehingga intervensi tunggal seperti penghijauan saja tidak memadai tanpa disertai perubahan pola penggunaan lahan. Temuan ini sejalan dengan [Ridwansyah et al. \(2020\)](#) yang membuktikan bahwa pemulihan tutupan vegetasi secara spasial terarah di DAS Cimanuk mampu menurunkan koefisien limpasan hingga 18% dan mengurangi risiko banjir di bagian hilir. Oleh karena itu, rehabilitasi lahan di DAS Siwa perlu diprioritaskan pada zona kerentanan tinggi yang teridentifikasi dalam penelitian ini, bukan dilakukan secara merata tanpa dasar spasial.

Daud (2026) dalam studinya di Sub-DAS Minraleng, Sulawesi Selatan, juga menegaskan bahwa meskipun kualitas DAS masih dalam kategori baik secara keseluruhan, penurunan tutupan hutan yang konsisten merupakan sinyal peringatan dini yang tidak boleh diabaikan dalam perencanaan pengelolaan jangka panjang. Hal yang sama berlaku untuk DAS Siwa, di mana dominasi hutan (70,66%) tidak boleh dijadikan alasan untuk menunda tindakan konservasi, mengingat laju deforestasinya yang terus berlangsung. Pendekatan pengelolaan berbasis ekosistem (ecosystem-based management) yang mengintegrasikan aspek hidrologi, ekologi, dan sosial-ekonomi masyarakat lokal — termasuk petani, nelayan tambak, dan komunitas adat di sekitar DAS — perlu segera diformulasikan sebagai landasan kebijakan jangka panjang yang mengikat ketiga kabupaten secara bersama.

#### D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perubahan tata guna lahan dan kerentanan ekosistem DAS Siwa periode 2015–2025, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut. Pertama, perubahan tata guna lahan di DAS Siwa ditandai oleh penurunan luas hutan sebesar 552,99 ha (24,37%), peningkatan signifikan perkebunan campuran (+389,70 ha), serta perluasan permukiman dan pertanian. Perubahan ini mencerminkan tekanan konversi lahan yang terus berlangsung meskipun hutan masih mendominasi kawasan (70,66%). Kedua, kerentanan ekosistem tersebar tidak merata dan cenderung tinggi pada wilayah bagian tengah dan hulu DAS yang mengalami deforestasi aktif, memiliki curah hujan tinggi, dan bertopografi curam. Ketiga, perubahan tata guna lahan dan intensitas curah hujan merupakan dua faktor utama yang berkontribusi terhadap peningkatan kerentanan ekosistem DAS Siwa. Keempat, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar ilmiah yang kuat bagi pengambilan kebijakan pengelolaan dan konservasi DAS Siwa secara terpadu, berkelanjutan, dan berbasis ekosistem.

#### Daftar Pustaka

- Asdak, C. (2020). Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Edisi Keenam). Gadjah Mada University Press.
- Badan Informasi Geospasial (BIG). (2023). Peta Rupa Bumi Indonesia Skala 1:25.000. BIG.
- Brontowiyono, W., Asmara, A. A., Jana, R., Yulianto, A., & Rahmawati, S. (2022). Land-use impact on water quality of the Opak Sub-Watershed, Yogyakarta, Indonesia. *Sustainability*, 14(7), 4346
- BMKG. (2024). Data Curah Hujan Sulawesi Selatan 2015–2025. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Daud, M. (2026). Spatiotemporal Land Cover Dynamics and Their Implications for Watershed Quality in the Minraleng Sub-Watershed, Indonesia. *Jurnal Wasian*, 13(1), 29–37.
- Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan. (2022). Peta Tutupan Lahan Indonesia. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Efendi, M., Sunoko, R S., Sulistya, W. (2012). Analisis Kriteria Dan Indikator Kerentanan Masyarakat Terhadap Perubahan Iklim Berbasis DAS (Studi Kasus Sub DAS Garang Hulu).

Universitas Dipanegara. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan

- Ekawti, N., Danoedoro, P (2023). Analisis Hubungan Perubahan Penggunaan Lahan Dengan Laju Erosi Metode Rusle Berbasis SIG di DAS Garang Tahun 2013 dan 2022. Gadjah Mada University Press.
- Kementerian LHK. (2021). Rencana Kehutanan Tingkat Nasional (RKTN) 2011–2030. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Maryono, A. (2018). Restorasi Sungai. Gadjah Mada University Press.
- Mukhlisa, A. N., Mappiasse, M. F., & Ashari, A. S. (2023). Penerapan Metode Skoring dan Weighted Overlay dalam Menaksir Tingkat Kerawanan Longsor Kecamatan Camba, Kabupaten Maros. *Gorontalo Journal of Forestry Research*, 6(2).
- Prahasta, E. (2018). Konsep-konsep Dasar Sistem Informasi Geografis. Informatika.
- Pratiwi, E., Saribanon, N., & Hermawan, R. (2019). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan dan Kerentanan Ekosistem DAS di Kawasan Hutan Tropis. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 9(2), 385–396.
- Ridwansyah, I., Yulianti, M., Onodera, S. I., Shimizu, Y., Wibowo, H., & Fakhrudin, M. (2020). The Impact of Land Use and Climate Change on Surface Runoff and Groundwater in Cimanuk Watershed, Indonesia. *Limnology*, 21(3), 487–498.
- Setyawan, R., Nurtjahjaningtyas, I., & Hidayah, E. (2023). Assessment of Land Erosion Hazard in the Sampean Hulu Sub Watershed, Bondowoso Regency. *Geosfera Indonesia*.
- Wahyunto, W., Hikmatulloh, A., & Subiksa, G. (2019). Pemetaan Lahan Kritis di Indonesia Menggunakan Pendekatan Spasial. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 43(1), 1–12.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. United States Department of Agriculture.