

Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS): Analisis Spasial Biogeofisik DAS Paguyaman

Waode Faridawaty¹, Asda Rauf²

Program Doktor Ilmu Lingkungan, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia^{1,2}

Faridawaty_waode@outlook.com¹, asdarauf@ung.ac.id²

Informasi Artikel	Abstract
E-ISSN : 3026-6874 Vol: 3 No: 2 Februari 2025 Halaman : 25-40	<i>This study utilises a spatial data-based approach, employing a Geographic Information System (GIS), to analyse the biogeophysics characteristics of the Paguyaman Watershed (DAS), with a view to supporting sustainable management. The study utilises a range of data sources, including field surveys, satellite imagery, a 30-meter resolution Digital Elevation Model (DEM), and climate data from local meteorological stations. The analysis reveals that the predominant soil type is Latosol, constituting 51.35% of the total area, followed by Podsollic soil (21.57%) and Alluvial soil (17.09%). While the fertile Latosol necessitates effective conservation management to avert degradation, the acidic nature of Podsollic soil warrants specific management to enhance agricultural productivity. The land cover is primarily dominated by secondary dryland forests, accounting for 36.43% of the total area, which plays a significant role in maintaining hydrological balance and preventing erosion. The topography of the Paguyaman Watershed, characterised by hills (55.24%) and mountains (26.67%), poses a high risk of erosion, necessitating conservation strategies such as reforestation and terracing techniques. This study underscores the necessity of integrating biogeophysical data to formulate adaptive and climate-responsive management strategies that address both environmental concerns and the needs of local communities. These findings are expected to serve as a strategic reference for future research and the development of more effective watershed management policies.</i>
Keywords: Sustainable management Paguyaman Watershed Biogeophysics Land conservation	

Abstrak

Penelitian ini menganalisis karakteristik biogeofisik Daerah Aliran Sungai (DAS) Paguyaman untuk mendukung pengelolaan wilayah yang berkelanjutan melalui pendekatan berbasis data spasial dengan memanfaatkan Geographic Information System (GIS). Data yang digunakan mencakup survei lapangan, citra satelit, model elevasi digital (DEM) beresolusi 30 meter, serta data iklim dari stasiun meteorologi setempat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis tanah yang dominan adalah Latosol, yang mencakup 51,35% dari total luas wilayah, diikuti oleh Podsolik (21,57%) dan Aluvial (17,09%). Latosol yang subur memerlukan manajemen konservasi yang tepat untuk mencegah degradasi, sementara Podsolik yang bersifat asam memerlukan perlakuan khusus guna mendukung produktivitas pertanian. Tutupan lahan didominasi oleh hutan lahan kering sekunder, yang mencakup 36,43% dari total area, berperan penting dalam menjaga keseimbangan hidrologi dan mencegah erosi. Topografi DAS Paguyaman, yang didominasi oleh perbukitan (55,24%) dan pegunungan (26,67%), menunjukkan risiko tinggi terhadap erosi, sehingga diperlukan strategi konservasi seperti reboisasi dan teknik terasering. Penelitian ini menekankan pentingnya integrasi data biogeofisik dalam merumuskan strategi pengelolaan yang adaptif dan responsif terhadap perubahan iklim, serta mendukung kebutuhan masyarakat lokal. Temuan ini dapat menjadi referensi strategis bagi penelitian lanjutan dan pengembangan kebijakan pengelolaan DAS yang lebih efektif.

Kata Kunci : Pengelolaan berkelanjutan, DAS Paguyaman, Biogeofisik, Konservasi lahan

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki kekayaan sumber daya air yang melimpah, sebagian besar berasal dari Daerah Aliran Sungai (DAS). DAS merupakan suatu kesatuan ekosistem yang kompleks dan dinamis, yang terdiri dari berbagai komponen fisik, biologi, dan sosial ekonomi yang saling berinteraksi. Penelitian terkini oleh Wang et al. (2019) menunjukkan bahwa pengelolaan DAS yang terintegrasi dapat meningkatkan resiliensi ekosistem hingga 45% dan menjamin ketersediaan air berkelanjutan. Namun, Huang et al., (2021) mengungkapkan fakta mengkhawatirkan bahwa degradasi

DAS di wilayah tropis telah mengalami penurunan kualitas lingkungan sebesar 27% dalam dekade terakhir.

Degradasi lingkungan di berbagai DAS Indonesia, termasuk DAS Paguyaman, telah mencapai tingkat yang mengkhawatirkan dan mengancam keberlanjutan ekosistem serta kesejahteraan masyarakat. DAS Paguyaman yang memiliki luas 2.396,33 km² dan mengalir di wilayah Kabupaten Pohuwato, Boalemo, dan Gorontalo menghadapi berbagai tantangan serius. (Martínez-Santos & Martínez-Alfaro, 2010) menekankan bahwa pemahaman karakteristik biofisik dalam pengelolaan DAS dapat meningkatkan akurasi prediksi bencana hidrometeorologi hingga 75%. Hasil penelitian terkini menunjukkan kondisi yang memprihatinkan dimana 58,73% wilayah DAS Paguyaman berada dalam kondisi sedang, sementara 27,4% berada dalam kondisi buruk atau sangat buruk. Hanya sekitar 27,19% area yang memiliki kondisi lahan yang baik atau sangat baik (Faridawaty et al., 2024).

Singh et al., (2018) mengidentifikasi bahwa perubahan tata guna lahan yang tidak terkendali berkontribusi sebesar 65% terhadap degradasi DAS di Asia Tenggara. Analisis tingkat erosi menunjukkan 14,21% area DAS Paguyaman mengalami tingkat erosi tinggi hingga sangat tinggi. Sepertiga DAS Paguyaman (32,86%) memiliki tingkat kekritisian lahan yang sedang hingga tinggi, dan hampir sepertiga DAS Paguyaman (29,38%) memiliki kondisi vegetasi yang buruk (Faridawaty et al., 2024). (Halim et al., 2007) menambahkan bahwa pemahaman karakteristik biofisik dapat meningkatkan efektivitas program konservasi DAS hingga 60%.

Kajian literatur terkini mengungkapkan beberapa kesenjangan penelitian yang signifikan. (Ekawaty et al., 2018) mencatat bahwa mayoritas penelitian DAS di Indonesia masih berfokus pada aspek teknis tanpa mengintegrasikan karakteristik biofisik secara komprehensif. Hamel et al., (2018) menekankan pentingnya memahami dampak eko-hidrologi dari intervensi DAS dan mengembangkan pengetahuan yang relevan dengan kebijakan untuk program pengelolaan yang efisien. (González-Zeas et al., 2019) memperingatkan terhadap penggunaan model iklim regional yang tidak tepat untuk perencanaan air di DAS pegunungan tropis, dengan menekankan perlunya metodologi yang lebih baik. Studi-studi ini secara kolektif menggarisbawahi tantangan dan peluang dalam mengembangkan model terpadu yang menghubungkan karakteristik biofisik dengan strategi pengelolaan DAS di wilayah tropis, khususnya dalam konteks perubahan iklim dan meningkatnya permintaan air.

Penelitian terkini perairan yang rentan, di hulu, memainkan peran penting dalam menjaga ketahanan daerah aliran sungai dengan menyimpan, memproses, dan melepaskan air dan material (Lane et al., 2022). Sistem ini berkontribusi terhadap heterogenitas spasial dan variabilitas temporal yang diperlukan untuk daerah aliran sungai yang tangguh, yang memengaruhi interaksi hidrologi dan biogeokimia antara sistem terestrial dan perairan hilir (Lane et al., 2022). Sistem ini berkontribusi pada fungsi hidrologi dan biogeokimia yang membantu DAS bertahan, beradaptasi, dan pulih dari gangguan. Ketahanan DAS mencerminkan kemampuannya untuk menyerap gangguan iklim dan mengatur ulang sambil mempertahankan fungsi-fungsi penting.

Ekosistem DAS menunjukkan hubungan yang kompleks antara karakteristik biofisik dan ketahanan. Faktor-faktor seperti curah hujan, morfometri, kemiringan, dan penggunaan lahan memengaruhi daya dukung DAS dan risiko banjir (Mahmud et al., 2023). Kerentanan DAS terhadap perubahan iklim dan penggunaan lahan dipengaruhi oleh karakteristik fisioklimat, dengan faktor-faktor seperti permeabilitas tanah, indeks aliran dasar, dan tutupan hutan yang memengaruhi kerentanan aliran tahunan rata-rata (Deshmukh & Singh, 2016). Meskipun terjadi gangguan, sistem ini dapat mempertahankan karakter keseluruhannya, meskipun pergeseran rezim skala lokal dapat terjadi (Mosepele et al., 2021). Memahami hubungan ini sangat penting untuk pengelolaan DAS dan strategi konservasi yang efektif.

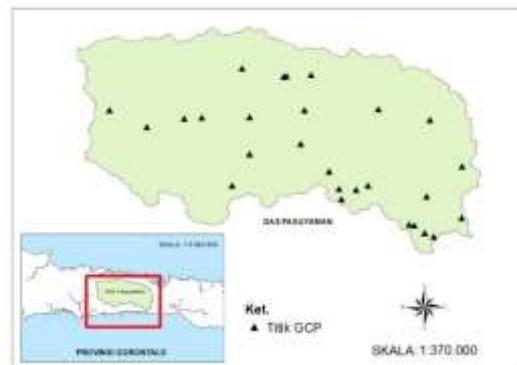
Berdasarkan kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan dalam dua aspek utama: (1) pengembangan pendekatan integratif dari analisis karakteristik biofisik untuk perencanaan pengelolaan DAS berkelanjutan, dan (2) penggunaan data spasial untuk menganalisis dinamika perubahan karakteristik biofisik DAS Paguyaman. Integrasi karakteristik biofisik dalam pengelolaan DAS menjadi kunci untuk memahami kompleksitas ekosistem dan merumuskan strategi pengelolaan yang efektif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik biofisik DAS Paguyaman dalam mendukung strategi pengelolaan DAS Paguyaman yang berkelanjutan.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan model pengelolaan DAS berbasis karakteristik biofisik yang adaptif dan berkelanjutan.

METODE

a. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah DAS Paguyaman yang terletak di bagian tengah Provinsi Gorontalo 122° 22' 52,361" BT dan 0° 44' 31,721" LU, dengan luas 239.681 Ha (BPKH, 2023). Secara administrasi dan terdapat di tiga kabupaten yaitu Kabupaten Pohuwato, Kabupaten Boalemo dan Kabupaten Gorontalo, Provinsi Gorontalo.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

b. Pengumpulan Data

Data Primer dari kegiatan survei lapangan untuk validasi hasil analisis pada titik-titik sampel (titik kontrol lapangan (GCP) yang ditentukan secara *stratified random sampling*. Data sekunder ini dapat menghemat waktu dan biaya karena tidak perlu melakukan survei lapangan yang ekstensif, serta dapat memberikan informasi yang lebih luas mengenai jenis tanah di area yang lebih besar. Data Sekunder meliputi data iklim yang bersumber dari stasiun meteorologi Bandar Udara Jalaluddin, data satelit, data *Digital Elevation Model (DEM)*, dari SRTM dengan resolusi spasial 30 meter, tinjauan literatur dan analisis dokumen pendukung lainnya, jenis tanah dari lembaga Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

c. Analisis Data

1. Iklim

Analisis spasial data iklim melibatkan dengan tahapan dan metode yang saling terintegrasi. Tahap pertama; pengumpulan data iklim yang dapat bersumber dari stasiun meteorologi, data satelit. Kedua; data kemudian diproses menggunakan teknik interpolasi spasial, untuk menghasilkan sebaran spasial yang kontinu dari variabel iklim yang diamati. Ketiga; analisis temporal dilakukan untuk mengidentifikasi pola dan tren perubahan iklim, dan menghasilkan variabilitas iklim di suatu wilayah DAS paguyaman, visualisasi hasil melalui peta isohyet untuk curah hujan. yang menunjukkan distribusi spasial variabel iklim. Hasil analisis divisualisasikan dalam bentuk peta menggunakan perangkat lunak ArcGIS.

2. Tutupan lahan

Analisis spasial untuk peta tutupan di DAS Paguyaman, melalui beberapa tahapan sistematis. Tahap pertama dimulai dengan persiapan data spasial yang mencakup data vektor batas DAS (shapefile) dan data raster tutupan lahan, dari hasil klasifikasi citra satelit. Dalam proses analisisnya, data raster tutupan lahan di-clip menggunakan batas DAS untuk membatasi area DAS. Hasil analisis tutupan lahan divisualisasikan dalam bentuk peta menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Selanjutnya, dilakukan

perhitungan statistik spasial untuk mengidentifikasi luasan masing-masing kelas tutupan lahan dalam satuan hektar dan persentasenya terhadap total luas DAS.

- Persentase Tutupan Lahan. $\% \text{ Tutupan} = (\text{Luas kelas tutupan lahan} / \text{Luas total DAS}) \times 100$
- Indeks Dominansi (Dominance Index). $DI = [(\text{Luas tutupan terbesar} / \text{Luas total DAS}) \times 100]$
- Tingkat Fragmentasi. $FI = (\text{Jumlah patch} / \text{Luas total kelas tutupan}) \times 100$. Dimana: FI = Indeks Fragmentasi, Patch = Area tutupan lahan yang terpisah

3. Topografi

Analisis spasial untuk menghasilkan data dan peta topografi DAS Paguyaman, dimulai dari pengolahan data Digital Elevation Model (DEM) sebagai input utama bersama dengan data batas DAS Paguyaman dalam format shapefile. Proses ini menghasilkan berbagai parameter topografi dasar seperti elevasi (minimum, maksimum, rata-rata), kemiringan lereng, arah hadap lereng, dan relief yang memberikan gambaran karakteristik fisik DAS. Untuk analisis kemiringan lereng digunakan rumus

$$\text{Slope (\%)} = (\text{Rise/Run}) \times 100$$

Dimana:

Rise = Perubahan elevasi,
Run = Jarak horizontal.

Hasil analisis topografi kemudian diklasifikasikan berdasarkan kemiringan lereng menggunakan sistem klasifikasi Van Zuidam, yang membagi lereng menjadi lima kelas: datar hingga landai (0-8%), bergelombang (8-15%), agak curam (15-25%), curam (25-45%), dan sangat curam (>45%). Klasifikasi ini penting untuk perencanaan penggunaan lahan dan analisis kerawanan bencana. Seluruh hasil analisis divisualisasikan dalam bentuk peta tematik peta kemiringan lereng. Untuk analisis kekasaran permukaan (*Terrain Ruggedness Index*/TRI). Hasil analisis topografi divisualisasikan dalam bentuk peta menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Rumus yang digunakan:

$$\text{TRI} = \sqrt{[\sum(z_{ij} - z_{00})^2 / 8]}$$

Dimana:

z_{ij} = Elevasi pada sel tetangga,
 z_{00} = Elevasi pada sel pusat.

4. Ketinggian Tempat

Analisis spasial untuk menentukan karakteristik ketinggian Daerah Aliran Sungai (DAS). Data utama yang digunakan adalah *Digital Elevation Model* (DEM) dari SRTM dengan resolusi spasial 30 meter dan peta batas DAS Paguyaman sebagai area kajian. Tahap awal analisis meliputi pra-pengolahan data DEM yang mencakup koreksi geometrik dan proses *fill sink* untuk menghilangkan *depression/sink*, dilanjutkan dengan pemotongan (*clip*) data DEM sesuai batas DAS. Ekstraksi nilai ketinggian dilakukan menggunakan teknik analisis spasial berbasis raster, dimana setiap pixel DEM merepresentasikan nilai ketinggian dalam satuan meter di atas permukaan laut (mdpl). Validasi hasil analisis dilakukan dengan menggunakan titik kontrol lapangan (GCP) yang tersebar secara proporsional di wilayah kajian. Akurasi hasil pengolahan dievaluasi menggunakan perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE). Hasil analisis ketinggian divisualisasikan dalam bentuk peta klasifikasi ketinggian DAS menggunakan perangkat lunak ArcGIS.

5. Bentuk lahan (morfologi)

Analisis bentuk lahan (morfologi) DAS dilakukan untuk memahami karakteristik fisik dan proses geomorfologi yang mempengaruhi sistem DAS. Identifikasi bentuk lahan menggunakan pendekatan analisis terrain yang mengkombinasikan data Digital Elevation Model (DEM) SRTM resolusi 30 meter, citra satelit multispektral, dan peta geologi. Klasifikasi bentuk lahan dilakukan dengan metode hierarki

yang mempertimbangkan faktor morfogenesis, morfografi, morfometri, dan morfokronologi. Hasil analisis morfologi divisualisasikan dalam bentuk peta morfologi DAS menggunakan perangkat lunak ArcGIS.

- a. Parameter morfometri yang digunakan meliputi perhitungan kelerengan menggunakan rumus

$$S=L/h\times 100\%$$

Dimana:

S = kemiringan lereng (%)

h = beda tinggi (m). dan

L = jarak horizontal (m)

- b. Aspek lereng dihitung untuk menentukan arah hadap lereng menggunakan rumus:

$$A=\tan^{-1} [(dz/dx)/(dz/dy)]$$

Dimana:

A = aspek dalam derajat

dz/dy = gradien dalam arah y, dan

dz/dx = gradien dalam arah x.

Proses deliniasi bentuk lahan dilakukan secara digital menggunakan teknik *terrain analysis*. Klasifikasi bentuk lahan menghasilkan beberapa unit morfologi utama meliputi puncak (summit), lereng atas (upper slope), lereng tengah (middle slope), lereng bawah (lower slope), lembah (valley), dan dataran aluvial (alluvial plain). Validasi hasil klasifikasi dilakukan melalui survei lapangan pada titik-titik sampel yang ditentukan secara stratified random sampling berdasarkan unit morfologi yang teridentifikasi.

6. Jenis Tanah

Interpolasi spasial adalah teknik yang digunakan untuk memprediksi nilai pada lokasi yang tidak terobservasi berdasarkan data yang ada di lokasi sekitarnya. Salah satu metode utama dalam interpolasi spasial adalah Kriging, yang merupakan teknik geostatistik yang memperhitungkan variasi spasial dengan memodelkan autocovariance antar titik data. Kriging memaksimalkan keakuratan prediksi dengan mempertimbangkan distribusi spasial dan hubungan antara titik-titik data. Hasil analisis jenis tanah divisualisasikan dalam bentuk peta jenis tanah DAS menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Rumus dasar Kriging dinyatakan sebagai:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

Di mana :

$Z(x_0)$ = Nilai yang diinterpolasi di lokasi x_0

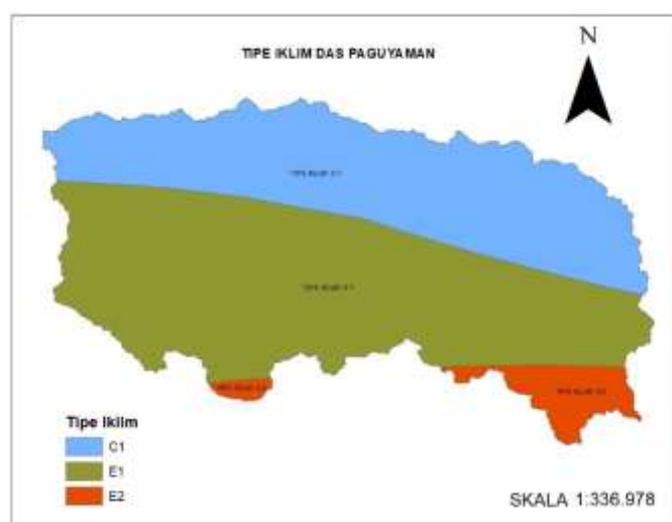
$x_0, Z(x_i)$ = Nilai pengamatan di lokasi x_i

λ_i = Bobot yang ditentukan berdasarkan fungsi semivariogram.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi spasial tipe iklim DAS Paguyaman

Berdasarkan klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson, DAS Paguyaman memiliki tiga tipe iklim yang berbeda: E1, E2, dan C1. Hasil analisis menunjukkan bahwa distribusi tipe iklim di DAS Paguyaman (Tabel 1.) didominasi oleh tipe iklim E1 yang mencakup area seluas 132.363 ha atau 55,22% dari total luas DAS. Tipe iklim ini menunjukkan karakteristik iklim yang relatif kering dengan jumlah bulan kering yang lebih banyak dibandingkan bulan basah. Area dengan tipe iklim C1 menempati urutan kedua terluas dengan total area 93.566 ha atau sekitar 39,04% dari keseluruhan DAS. Tipe iklim C1 mengindikasikan kondisi yang agak basah, menandakan adanya keseimbangan yang lebih baik antara bulan basah dan bulan kering dibandingkan tipe iklim E. Area ini umumnya memiliki potensi yang lebih baik untuk aktivitas pertanian dan ketersediaan air. Tipe iklim E2 memiliki sebaran paling kecil di DAS Paguyaman, hanya mencakup area seluas 13.753 ha atau 5,74% dari total luas DAS. Karakteristik tipe iklim E2 menunjukkan kondisi yang sangat kering, dengan rasio bulan kering yang lebih tinggi dibandingkan tipe iklim lainnya di wilayah ini.



Gambar 2. Tipe Iklim DAS Paguyaman

Tabel 1. Tipe Iklim DAS Paguyaman

No	Tipe Iklim	Luas	Persentase (%)
1	E2	13.753	5,74
2	C1	93.566	39,04
3	E1	132.363	55,22
	Total	239.681	100,00

Studi terkini telah mengeksplorasi pendekatan inovatif untuk menganalisis dan mengoptimalkan distribusi spasial tipe iklim serta model hidrologi di daerah aliran sungai, yang merupakan aspek penting dalam pengelolaan sumber daya air dan mitigasi perubahan iklim. Penelitian yang dilakukan oleh Lim et al., (2015) di sebuah cekungan di Korea Selatan menunjukkan bagaimana faktor-faktor iklim dapat bervariasi secara spatio-temporal. Mereka menemukan bahwa pola suhu dan kelembapan mengalami fluktuasi signifikan, baik secara musiman maupun harian. Misalnya, suhu dapat meningkat drastis selama musim panas, yang berdampak pada evapotranspirasi dan ketersediaan air. Selanjutnya, Manzano-Solís et al., (2018) mengembangkan modul GIS otomatis yang mampu mengklasifikasikan iklim berdasarkan sistem Köppen-Garcia. Penelitian ini memungkinkan identifikasi perubahan iklim di daerah aliran sungai Meksiko selama berbagai periode waktu. Dengan menggunakan data historis, mereka dapat menunjukkan bagaimana perubahan iklim berkontribusi pada perubahan

pola curah hujan dan suhu, yang pada gilirannya mempengaruhi ekosistem lokal. (Kolling Neto et al., 2024) melakukan evaluasi terhadap berbagai sumber data spasial untuk memperkirakan neraca air di daerah aliran sungai semi-arid Brasil. Mereka menemukan bahwa data dari TerraClimate adalah yang paling akurat dalam menangkap variasi spasial dan nuansa iklim. Temuan ini menunjukkan bahwa pemilihan sumber data yang tepat sangat krusial untuk pengambilan keputusan yang efektif dalam pengelolaan sumber daya air.

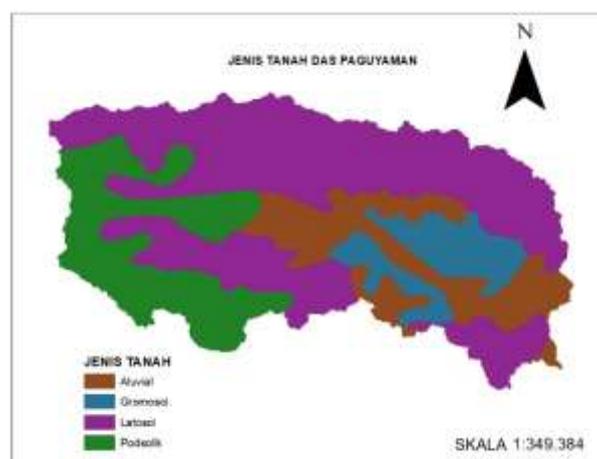
Secara keseluruhan, studi-studi ini menekankan pentingnya teknik analisis spasial yang canggih dan integrasi data yang cermat dalam meningkatkan pengelolaan daerah aliran sungai dan pemodelan hidrologis. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang dinamika iklim dan hidrologi, kita dapat mengembangkan strategi yang lebih efektif untuk menghadapi tantangan perubahan iklim dan memastikan keberlanjutan sumber daya air di masa depan..

Distribusi spasial jenis tanah DAS Paguyaman

DAS Paguyaman memiliki beragam jenis tanah yang memengaruhi karakteristik pengelolaan dan konservasi wilayah tersebut. Berdasarkan data distribusi jenis tanah, jenis tanah yang dominan di wilayah ini adalah Latosol, yang mencakup 123.088 hektar atau sekitar 51,35% dari total luas DAS. Latosol dikenal memiliki tekstur lempung yang subur dan tingkat kesuburan yang cukup baik, tetapi memerlukan pengelolaan yang tepat untuk mencegah erosi dan degradasi tanah.

Jenis tanah Podsolik menempati urutan kedua dengan luas 51.688 hektar, setara dengan 21,57% dari total luas DAS. Podsolik sering kali bersifat asam dan memiliki tingkat kesuburan rendah, sehingga memerlukan upaya pengolahan khusus, seperti penambahan bahan organik dan pengaturan pH, untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Selanjutnya, tanah Aluvial mencakup sekitar 17,09% dari total luas DAS, yaitu 40.966 hektar. Jenis tanah ini umumnya ditemukan di dataran rendah dan sering dihubungkan dengan endapan sungai, sehingga cenderung subur dan cocok untuk kegiatan pertanian intensif. Gromosol adalah jenis tanah dengan cakupan terkecil, hanya mencakup 9,99% atau 23.939 hektar. Tanah ini memiliki kandungan lempung tinggi dan kemampuan menahan air yang baik, tetapi memerlukan manajemen drainase yang cermat untuk mencegah genangan air.

Pemahaman mengenai distribusi jenis tanah di DAS Paguyaman ini penting untuk merencanakan strategi pengelolaan yang efektif. Pengelolaan DAS yang berkelanjutan perlu mempertimbangkan dominasi tanah Latosol dan Podsolik, dengan fokus pada praktik konservasi tanah dan pengendalian erosi. Selain itu, pemanfaatan tanah Aluvial secara optimal untuk pertanian dan pengaturan drainase di area Gromosol harus menjadi bagian dari rencana holistik untuk menjaga stabilitas ekosistem dan keberlanjutan sumber daya air.



Gambar 3. Jenis Tanah DAS Paguyaman

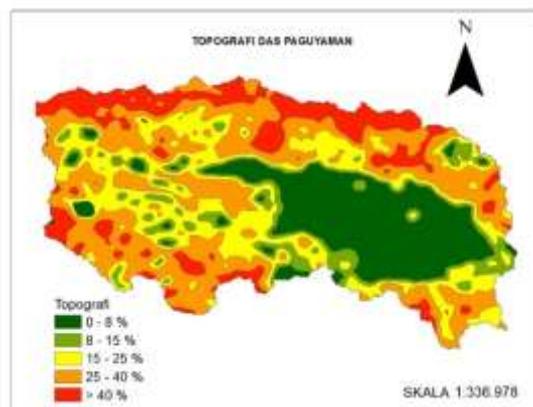
Tabel 2. Jenis Tanah DAS Paguyaman

No	Jenis Tanah	Luas	Persentase (%)
1	Gromosol	23.939	9,99
2	Latosol	123.088	51,35
3	Aluvial	40.966	17,09
4	Podsolik	51.688	21,57
	Total	239.681	100,00

Memahami distribusi tanah di daerah aliran sungai sangat penting untuk strategi pengelolaan yang efektif. Sifat-sifat tanah menunjukkan variabilitas spasial di seluruh daerah aliran sungai, dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti penggunaan lahan dan geomorfologi (Yuan et al., 2018). Salinitas tanah cenderung meningkat dari daerah hulu ke hilir, dengan perubahan komposisi ion garam dan distribusi ukuran partikel (Wang et al., 2019). Distribusi karbon organik tanah (SOC) bervariasi dengan jenis penggunaan lahan dan pengaturan geomorfik, dengan ketinggian memiliki dampak yang signifikan (Yuan et al., 2018). Pemetaan pola spasial sifat-sifat tanah sangat penting untuk pengelolaan spesifik lokasi, dengan metode geostatistik terbukti efektif dalam menggambarkan zona pengelolaan (Tuffour et al., 2016). Temuan-temuan ini menyoroti pentingnya mempertimbangkan heterogenitas spasial dalam sifat-sifat tanah ketika mengembangkan strategi pengelolaan daerah aliran sungai. Heterogenitas spasial pada sifat-sifat tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk topografi, penggunaan lahan, dan praktik pengelolaan. Penelitian telah menunjukkan bahwa sifat-sifat kimia tanah seperti pH, fosfor yang tersedia, dan total karbon menunjukkan autokorelasi spasial yang kuat pada skala 80-650 m. Topografi dan praktik pengelolaan kesuburan secara signifikan memengaruhi distribusi sifat-sifat fisikokimia tanah (Nyengere et al., 2023).

Distribusi spasial topografi DAS Paguyaman

DAS Paguyaman memiliki variasi topografi yang beragam (Tabel 2.), mulai dari datar hingga sangat curam dengan rentang kemiringan 0% hingga lebih dari 40%. Variasi topografi ini mencerminkan kompleksitas bentang lahan yang mempengaruhi dinamika hidrologi dan potensi kerawanan terhadap degradasi lahan di wilayah DAS. Total luas DAS Paguyaman mencapai 239.697 ha, dengan sebaran kelas lereng yang bervariasi, mengindikasikan perlunya pendekatan pengelolaan yang berbeda untuk setiap karakteristik topografi. Hasil analisis menunjukkan bahwa topografi DAS Paguyaman didominasi oleh kemiringan 25-40% yang mencakup area seluas 76.149 ha atau 31,77% dari total luas DAS. Distribusi kelas lereng lainnya terdiri dari kemiringan 15-25% seluas 55.987 ha (23,36%), area relatif datar (0-8%) seluas 50.126 ha (20,91%), area sangat curam (>40%) seluas 35.819 ha (14,94%), dan area landai (8-15%) seluas 21.616 ha (9,02%).



Gambar 4. Topograsi DAS Paguyaman

Tabel 3. Topograsi DAS Paguyaman DAS Paguyaman

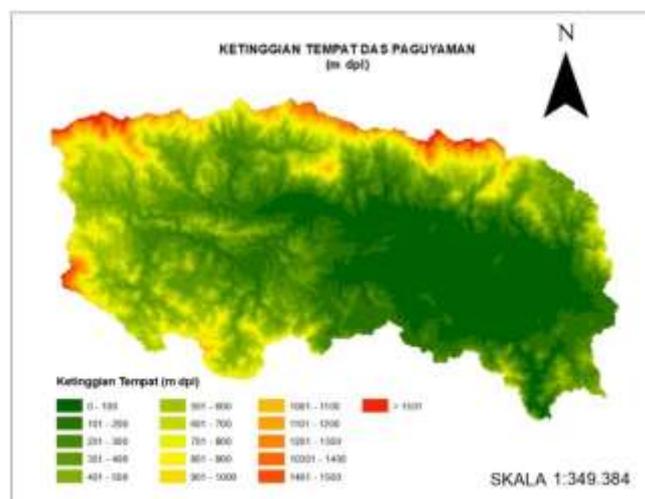
No	Topografi	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	> 40 %	35.817	14,94
2	0 - 8 %	50.122	20,91
3	15 - 25 %	55.983	23,36
4	25 - 40 %	76.144	31,77
5	8 - 15 %	21.615	9,02
	Total	239.681	100,00

Topografi memiliki peran penting dalam pengelolaan DAS karena memengaruhi aliran air, distribusi sedimen, dan pola drainase alami, yang secara keseluruhan memengaruhi ketersediaan dan kualitas air di suatu wilayah. Digital Elevation Models (DEMs) menjadi alat esensial dalam menganalisis karakteristik topografi DAS, dengan data dari SRTM yang terbukti memberikan hasil paling akurat (tingkat akurasi 95%) dibandingkan ASTER GDEM dan GTOPO30 (Fathy et al., 2019). Analisis topografi menggunakan DEM dapat membantu mengidentifikasi area sensitif yang rentan terhadap aktivitas manusia, seperti yang ditunjukkan dalam studi DAS Sungai Otamiri di Nigeria (AC-Chukwuocha et al., 2017). Selain itu, topografi berperan dalam menentukan pola penggunaan lahan dan gradien ketinggian yang memengaruhi sifat fisikokimia tanah di DAS. Penelitian di Ethiopia utara menunjukkan bahwa sifat-sifat seperti kandungan bahan organik tanah, nitrogen total, dan kandungan lempung memiliki korelasi positif dengan total porositas tanah, sedangkan kerapatan massa tanah menunjukkan korelasi negatif dengan parameter tersebut (Seifu et al., 2020). Hal ini menggarisbawahi pentingnya mempertimbangkan topografi dalam merancang strategi pengelolaan tanah berkelanjutan di DAS. Dengan memahami hubungan antara topografi, penggunaan lahan, dan karakteristik tanah, strategi konservasi dapat dioptimalkan untuk menjaga kestabilan ekosistem, mencegah erosi, dan memaksimalkan manfaat sumber daya air secara efisien. Variasi topografi ini secara signifikan memengaruhi dinamika hidrologis dan potensi degradasi lahan. Pengelolaan DAS yang efektif memerlukan pemahaman mendalam tentang distribusi spasial karakteristik topografi, dan praktik penggunaan lahan.

Distribusi spasial Ketinggian Tempat

DAS Paguyaman memiliki topografi yang bervariasi (Tabel 4), dengan ketinggian tempat yang mencakup rentang luas. Wilayah dengan ketinggian 0–100 m dpl mendominasi dengan luas 52.669,02 hektar, yang mencakup 21,97% dari total area. Disusul oleh area pada ketinggian 101–200 m dpl sebesar 33.179,91 hektar (13,84%) dan 201–300 m dpl seluas 28.698,01 hektar (11,97%). Ketinggian 301–400 m dpl juga cukup signifikan, mencakup 12,45% dari total area. Seiring bertambahnya ketinggian,

persentase luas lahan cenderung menurun, dengan wilayah 501–600 m dpl mencakup 8,59% dan 601–700 m dpl seluas 6,38%. Luasan semakin berkurang pada ketinggian di atas 700 m, di mana area di rentang 701–800 m dpl mencakup 4,37% dan seterusnya hingga ketinggian >1501 m dpl hanya mencakup 0,45%. Hal ini menunjukkan bahwa DAS Paguyaman memiliki distribusi luas yang menurun seiring peningkatan ketinggian, dengan topografi yang lebih luas berada di dataran rendah.



Gambar 5. Ketinggian Tempat (m dpl) DAS Paguyaman

Tabel 4 Ketinggian Tempat (m dpl) DAS Paguyaman

No	Ketinggian Tempat (m dpl)	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	0 - 100	52.669	21,97
2	101 - 200	33.180	13,84
3	201 - 300	28.698	11,97
4	301 - 400	29.849	12,45
5	401 - 500	25.717	10,73
6	501 - 600	20.580	8,59
7	601 - 700	15.284	6,38
8	701 - 800	10.470	4,37
9	801 - 900	6.949	2,90
10	901 - 1000	4.923	2,05
11	1001 - 1100	3.592	1,50
12	1101 - 1200	2.480	1,03
13	1201 - 1300	1.881	0,78
14	10301 - 1400	1.409	0,59
15	1401 - 1500	910	0,38
16	> 1501	1.089	0,45
	Total	239.681	100,00

Distribusi ketinggian di daerah aliran sungai memainkan peran penting dalam membentuk karakteristik lanskap dan proses hidrologi. Ketinggian memengaruhi berbagai faktor seperti distribusi curah hujan, glasiasi, dan pola drainase. Analisis morfometri, termasuk parameter seperti urutan aliran sungai, kepadatan drainase, dan rasio elongasi, sangat penting untuk penentuan prioritas dan pengelolaan daerah aliran sungai (Kimothi & Rama, 2017). Dampak ketinggian pada karakteristik daerah

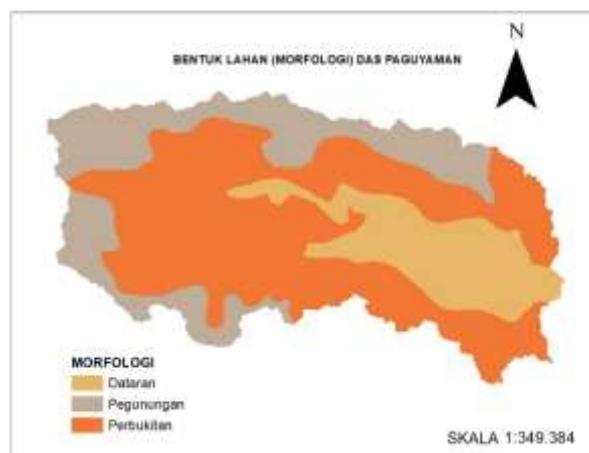
aliran sungai terlihat jelas dalam faktor-faktor seperti kemiringan, relief, dan kelengkungan, yang dipengaruhi oleh proses seperti glasiasi dan tektonik (Ahmad & Khan, 2020). Memahami faktor-faktor yang berkaitan dengan ketinggian sangat penting untuk pengelolaan DAS yang efektif. Ketinggian memengaruhi tutupan vegetasi dan sifat-sifat tanah, dengan ketinggian yang lebih tinggi biasanya menunjukkan tutupan vegetasi yang lebih besar karena peningkatan kelembaban dan berkurangnya tekanan penggembalaan (Qanbari & Jamali, 2015). Pengelolaan DAS yang efektif memerlukan pendekatan multidisiplin yang menggabungkan pengetahuan teknis, pertimbangan etika, dan pemahaman tentang ideologi sosial-lingkungan (Sarmiento Martínez et al., 2024). Pendekatan komprehensif ini memungkinkan praktik pengelolaan DAS yang lebih koheren dan berkelanjutan yang menangani aspek lingkungan dan sosial dari sistem DAS..

Distribusi spasial bentuk lahan (morfologi)

DAS Paguyaman memiliki beragam bentuk lahan yang berkontribusi pada karakteristik morfologi (Tabel 5.). Bentuk lahan yang dominan adalah perbukitan, yang mencakup 132.401 hektar atau sekitar 55,24% dari total luas DAS. Kondisi perbukitan rentan terhadap erosi, terutama jika tidak dilakukan upaya konservasi tanah yang memadai. Oleh karena itu, pengelolaan perbukitan memerlukan pendekatan konservasi seperti penanaman vegetasi penahan erosi dan penerapan teknik terasering untuk mengurangi laju aliran permukaan.

Pegunungan mencakup 63.920 hektar atau 26,67% dari total luas DAS. Wilayah pegunungan, dengan ketinggian dan kemiringan yang lebih curam, memerlukan perhatian khusus dalam pengelolaan air dan tanah. Daerah ini sering berfungsi sebagai daerah tangkapan air utama, sehingga perlindungan hutan dan vegetasi alaminya sangat penting untuk menjaga ketersediaan dan kualitas air yang mengalir ke DAS. Dataran mencakup sekitar 18,09% dari total luas DAS, yaitu seluas 43.360 hektar. Area dataran ini umumnya digunakan untuk kegiatan pertanian dan pemukiman, sehingga perencanaan pengelolaan air dan penggunaan lahan yang baik sangat penting untuk mencegah banjir dan degradasi tanah. Optimalisasi sistem drainase dan penerapan praktik pertanian berkelanjutan dapat membantu menjaga keseimbangan ekologis di dataran.

Pemahaman mengenai distribusi bentuk lahan di DAS Paguyaman sangat penting untuk menyusun strategi pengelolaan yang komprehensif. Pendekatan pengelolaan yang berkelanjutan harus mencakup konservasi perbukitan dan pegunungan untuk mencegah erosi dan menjaga sumber daya air, serta pengelolaan dataran yang mendukung produktivitas pertanian tanpa mengorbankan kualitas lingkungan.



Gambar 6. Bentuk Lahan (Morfologi) DAS Paguyaman

Tabel 5. Bentuk Lahan (Morfologi) DAS Paguyaman

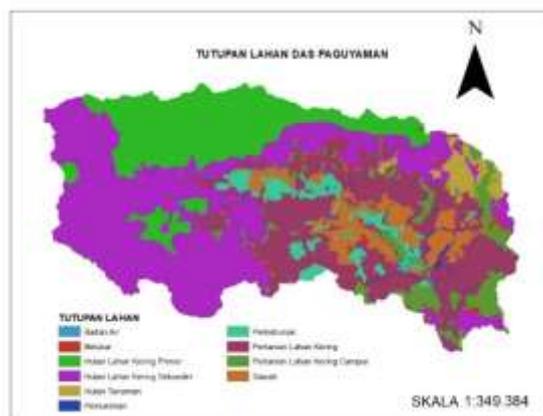
No	Morfologi	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Perbukitan	132.401	55,24
2	Dataran	43.360	18,09
3	Pegunungan	63.920	26,67
	Total	239.681	100,00

Memahami distribusi bentuk lahan di suatu daerah aliran sungai sangat penting untuk strategi pengelolaan yang efektif. Daerah aliran sungai bervariasi dalam ukuran dan bentuk, meliputi bentuk lahan dan fitur fisiografi yang beragam (Guo, 2013). Klasifikasi dan pemetaan bentuk lahan, yang menggabungkan faktor-faktor seperti topografi dan litologi, dapat memberikan wawasan berharga untuk perencanaan adaptasi iklim dan konservasi keanekaragaman hayati (Theobald et al., 2015). Data geospasial dan skema klasifikasi elemen bentuk lahan membantu mengkodeifikasi pengumpulan data tanah pada skala variabel dalam daerah aliran sungai (Fortuna et al., 2021). Fitur fisiografi ini memengaruhi sifat edafik, yang bervariasi dengan posisi dan kedalaman lanskap (Fortuna et al., 2021). Dengan memahami hubungan antara bentuk lahan, sifat tanah, dan penggunaan lahan, dapat mengembangkan strategi pengelolaan daerah aliran sungai yang lebih komprehensif dan efektif (Fortuna et al., 2021; Theobald et al., 2015).

Distribusi spasial Tutupan lahan

DAS Paguyaman memiliki beragam jenis tutupan lahan yang mempengaruhi pengelolaan sumber daya alam. Dari data (Tabel 6.), hutan lahan kering sekunder mencakup area terbesar, yakni 87.327 hektar atau 36,43% dari total luas DAS. Keberadaan hutan ini penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem, mendukung fungsi hidrologi, dan mengurangi risiko erosi. Hutan lahan kering primer, yang meliputi 46.755 hektar atau 19,51% dari total DAS, berperan penting dalam menjaga keanekaragaman hayati dan sumber daya air yang berkelanjutan. Pertanian lahan kering menempati area seluas 52.513 hektar atau 21,91% dari DAS, diikuti oleh sawah dengan 16.079 hektar (6,71%). Praktik pertanian ini memerlukan pengelolaan air yang efisien dan praktik konservasi tanah untuk mengurangi degradasi lahan. Pertanian lahan kering campur dan perkebunan masing-masing mencakup 6,50% dan 4,65% dari total luas DAS, menambah dinamika penggunaan lahan yang memerlukan strategi pengelolaan terpadu untuk mendukung produktivitas dan menjaga kualitas lingkungan.

Pemukiman hanya mencakup 0,62% dari DAS, sementara belukar (0,86%) dan tanah terbuka (0,04%) menunjukkan adanya area yang berpotensi untuk dimanfaatkan atau dipulihkan. Hutan tanaman, meskipun hanya mencakup 2,40% dari total luas DAS, memberikan kontribusi terhadap produksi kayu dan konservasi tanah. Badan air mencakup 891 hektar atau 0,37%, dan merupakan komponen penting dalam mendukung keberlanjutan ekosistem DAS serta penyediaan air untuk berbagai keperluan. Upaya pengelolaan DAS yang efektif harus mempertimbangkan perlindungan terhadap hutan primer dan sekunder, pengelolaan air dan praktik pertanian yang berkelanjutan, serta upaya konservasi pada area terbuka untuk mencegah erosi dan degradasi lingkungan. Kombinasi strategi ini dapat membantu menjaga keseimbangan ekologi dan keberlanjutan fungsi hidrologis DAS Paguyaman.



Gambar 7. Tutupan Lahan DAS Paguyaman

Tabel 6. Tutupan Lahan DAS Paguyaman

No	Tutupan Lahan	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Hutan Lahan Kering Primer	46.755	19,51
2	Hutan Lahan Kering Sekunder	87.327	36,43
3	Belukar	2.064	0,86
4	Pertanian Lahan Kering Campur	15.570	6,50
5	Perkebunan	11.149	4,65
6	Pemukiman	1.492	0,62
7	Tanah Terbuka	91	0,04
8	Badan Air	891	0,37
9	Pertanian Lahan Kering	52.513	21,91
10	Sawah	16.079	6,71
11	Hutan Tanaman	5.750	2,40
	Total	239.681	100,00

Perubahan tata guna lahan dan tutupan lahan berdampak signifikan terhadap hidrologi DAS, yang memengaruhi karakteristik limpasan dan hasil sedimen. Urbanisasi, pertanian, dan penggundulan hutan merupakan pendorong utama perubahan ini (Megersa et al., 2019; Ogato et al., 2021). Penelitian telah menunjukkan bahwa alih fungsi hutan menjadi lahan pertanian dapat meningkatkan limpasan permukaan dan nilai limpasan puncak, meskipun dampaknya dapat dimoderasi oleh praktik perkebunan (Sajikumar & Remya, 2015). Dampak perubahan tata guna lahan pada DAS dapat dinilai menggunakan model hidrologi yang terintegrasi dengan SIG, seperti SWAT (Soil and Water Analysis Tool), yang dapat mensimulasikan hilangnya sedimen dan nutrisi berdasarkan data tata guna lahan, tanah, lereng, dan iklim (Megersa et al., 2019; Sajikumar & Remya, 2015). Memahami dinamika ini sangat penting untuk pengelolaan DAS yang berkelanjutan dan menerapkan strategi perencanaan tata guna lahan yang tepat (Ogato et al., 2021).

KESIMPULAN

Penelitian ini mengeksplorasi karakteristik biogeofisik DAS Paguyaman guna mendukung pengelolaan berkelanjutan melalui pendekatan data spasial berbasis GIS. Analisis mencakup survei

lapangan, citra satelit, model elevasi digital (DEM), serta data iklim dari stasiun meteorologi setempat. Hasil studi menunjukkan bahwa jenis tanah dominan adalah Latosol, yang mencakup 51,35% dari total area. Meskipun subur, Latosol memerlukan manajemen konservasi untuk mencegah degradasi. Jenis tanah lainnya meliputi Podsolik (21,57%), yang bersifat asam dan memerlukan perlakuan khusus untuk meningkatkan produktivitas, serta tanah Aluvial (17,09%), yang cocok untuk kegiatan pertanian.

Tutupan lahan di DAS didominasi oleh hutan lahan kering sekunder (36,43%), yang memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan hidrologi dan mencegah erosi. Topografi DAS beragam, mulai dari dataran hingga lereng curam, dengan perbukitan mencakup 55,24% area dan pegunungan 26,67%, yang memerlukan strategi konservasi seperti reboisasi dan terasering. Dataran rendah (0-100 m dpl) mencakup 21,97% wilayah, memengaruhi distribusi curah hujan dan aliran air.

Studi ini menekankan pentingnya integrasi data biofisik dalam merancang strategi pengelolaan yang adaptif dan responsif terhadap perubahan iklim serta kebutuhan masyarakat lokal. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan untuk pengembangan strategi konservasi tanah dan pengelolaan sumber daya air yang lebih komprehensif guna mendukung keberlanjutan ekosistem DAS.

REFERENCES

- AC-Chukwuocha, N., Ngah, S. A., Chukwuocha, A. C. (2017). Vulnerability Studies of Sensitive Watershed Areas of Owerri South East Nigeria Using Digital Elevation Models. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 5(10), 1–10. <https://doi.org/10.4236/GEP.2017.510001>
- Ahmad, S., & Khan, K. (2020). Impact of Elevation - Glaciation - Tectonics on landscape characteristics of the watersheds in Bhagirathi valley, Garhwal Himalaya. *Journal of The Indian Association of Sedimentologists (Peer Reviewed)*, 37(2), 141–147. <https://doi.org/10.51710/JIAS.V37I2.110>
- Deshmukh, A., & Singh, R. (2016). Physio-climatic controls on vulnerability of watersheds to climate and land use change across the U. S. *Water Resources Research*, 52(11), 8775–8793. <https://doi.org/10.1002/2016WR019189>
- Ekawaty, R., Yonariza, Y., Ekaputra, E. G., & Arbain, A. (2018). Telaahan Daya Dukung dan Daya Tampung Lingkungan Dalam Pengelolaan Kawasan Daerah Aliran Sungai di Indonesia. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, 2(2), 30–40. <https://doi.org/10.32530/JAAST.V2I2.42>
- Faridawaty, W., Lihawa, F., Wahyuni Baderan, D. K., & Mahmud, M. (2024). Analisis Model Spasial Kondisi Lahan Daerah Aliran Sungai (DAS) Paguyaman. In *Journal of International Multidisciplinary Research*. <https://doi.org/10.62504/jimr525>
- Fathy, I., Abd-Elhamid, H., Zelenakova, M., & Kaposztasova, D. (2019). Effect of Topographic Data Accuracy on Watershed Management. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2019, Vol. 16, Page 4245, 16(21), 4245. <https://doi.org/10.3390/IJERPH16214245>
- Fortuna, A., Steiner, J. J., Moriasi, D. N., Northup, B. K., & Starks, P. J. (2021). Linking geospatial information and effects of land management to edaphic properties. *Journal of Soil and Water Conservation*, 77, 45–58. <https://doi.org/10.2489/jswc.2022.00160>
- González-Zeas, D., Erazo, B., Lloret, P., De Bièvre, B., Steinschneider, S., & Dangles, O. (2019). Linking global climate change to local water availability: Limitations and prospects for a tropical mountain watershed. *Science of The Total Environment*, 650, 2577–2586. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.09.309>
- Guo, M. (2013). *Effective Watershed Management: Planning, Implementation, and Evaluation*. <https://doi.org/10.4172/2157-7587.1000E119>

- Halim, R., Clemente, R. S., Routray, J. K., & Shrestha, R. P. (2007). Integration of biophysical and socio-economic factors to assess soil erosion hazard in the upper Kaligarang watershed, Indonesia. *Land Degradation and Development*, 18(4), 453–469. <https://doi.org/10.1002/LDR.774>
- Hamel, P., Riveros-Iregui, D., Ballari, D., Browning, T., Célleri, R., Chandler, D., Chun, K. P., Destouni, G., Jacobs, S., Jasechko, S., Johnson, M., Krishnaswamy, J., Poca, M., Pompeu, P. V., & Rocha, H. (2018). Watershed services in the humid tropics: Opportunities from recent advances in ecohydrology. *Ecohydrology*, 11(3), e1921. <https://doi.org/10.1002/ECO.1921>
- Huang, H., Calabrese, S., & Rodriguez-Iturbe, I. (2021). Variability of ecosystem carbon source from microbial respiration is controlled by rainfall dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(52), e2115283118. https://doi.org/10.1073/PNAS.2115283118/SUPPL_FILE/PNAS.2115283118.SAPP.PDF
- Kimothi, S., & Rama, S. N. (2017). *Prioritization based on Morphometric Analysis in Alaknanda Basin By Thapliyal . A , Panwar . A &*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:198230551>
- Kolling Neto, A., Ribeiro, R. B., Fraga, M. de S., & Pruski, F. F. (2024). Estimating water balance in a Brazilian semiarid watershed using different spatial data. *Journal of South American Earth Sciences*, 140, 104930. <https://doi.org/10.1016/J.JSAMES.2024.104930>
- Lane, C. R., Creed, I. F., Golden, H. E., Leibowitz, S. G., Mushet, D. M., Rains, M. C., Wu, Q., D'Amico, E., Alexander, L. C., Ali, G. A., Basu, N. B., Bennett, M. G., Christensen, J. R., Cohen, M. J., Covino, T. P., DeVries, B., Hill, R. A., Jencso, K., Lang, M. W., ... Vanderhoof, M. K. (2022). Vulnerable Waters are Essential to Watershed Resilience. *Ecosystems* 2022 26:1, 26(1), 1–28. <https://doi.org/10.1007/S10021-021-00737-2>
- Lim, C. H., Moon, J. Y., Lim, Y. J., Kim, S. J., & Lee, W. K. (2015). Estimating Spatio-Temporal Distribution of Climate Factors in Andong Dam Basin. *대한공간정보학회지*, 23(4), 57–65. <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06575052>
- Mahmud, Azis, A., Wijaya, D., Wahyudi, Nugroho, B., & Melanesia, D. (2023). Biophysical characteristics of Wosi Watershed area in Manokwari Regency, Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 13(1), 88–101. <https://doi.org/10.29244/jpsl.13.1.88-101>
- Manzano-Solís, L. R., Gómez-Albores, M. A., Díaz-Delgado, C., Mastachi-Loza, C. A., Ordoñez-Sierra, R., Bâ, K. M., & Franco-Plata, R. (2018). Identification of Variations in the Climatic Conditions of the Lerma-Chapala-Santiago Watershed by Comparative Analysis of Time Series. *Advances in Meteorology*, 2018(1), 1098942. <https://doi.org/10.1155/2018/1098942>
- Martínez-Santos, P., & Martínez-Alfaro, P. E. (2010). Estimating groundwater withdrawals in areas of intensive agricultural pumping in central Spain. *Agricultural Water Management*, 98(1), 172–181. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2010.08.011>
- Megersa, T., Nedaw, D., & Argaw, M. (2019). Combined effect of land use/cover types and slope gradient in sediment and nutrient losses in Chancho and Sorga sub watersheds, East Wollega Zone, Oromia, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 8, 1–14. <https://doi.org/10.1186/s40068-019-0151-3>
- Mosepele, B. Q., Mosepele, K., Mosepele, B. Q., & Mosepele, K. (2021). Review of Aquatic Biodiversity Dynamics in the Okavango Delta: Resilience in a Highly Fluctuating Environment. *Inland Waters - Dynamics and Ecology*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.93259>

- Nyengere, J., Okamoto, Y., Funakawa, S., & Shinjo, H. (2023). Analysis of spatial heterogeneity of soil physicochemical properties in northern Malawi. *Geoderma Regional*. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00733>
- Ogato, G. S., Bantider, A., & Geneletti, D. (2021). Dynamics of land use and land cover changes in Huluka watershed of Oromia Regional State, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 10, 1–20. <https://doi.org/10.1186/s40068-021-00218-4>
- Qanbari, V., & Jamali, A. A. (2015). *The relationship between elevation, soil properties and vegetation cover in the Shorb-Ol-Ain watershed of Yazd*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:54214869>
- Sajikumar, N., & Remya, R. S. (2015). Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. *Journal of Environmental Management*, 161, 460–468. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.12.041>
- Sarmiento Martínez, M., Hugo, V., & Sandoval, C. (2024). Más allá de los ambientalismos. Un enfoque crítico para la Gestión Integrada de Cuencas. *Digital Ciencia@UAQRO*, 17(1), 16–29. <https://doi.org/10.61820/DC.V17I1.1216>
- Seifu, W., Elias, E., & Gebresamuel, G. (2020). The Effects of Land Use and Landscape Position on Soil Physicochemical Properties in a Semiarid Watershed, Northern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*, 2020, 1–20. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:229407512>
- Singh, C. K., Kumar, A., & Roy, S. S. (2018). Quantitative analysis of the methane gas emissions from municipal solid waste in India. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-018-21326-9>
- Theobald, D. M., Harrison-Atlas, D., Monahan, W. B., & Albano, C. M. (2015). Ecologically-Relevant Maps of Landforms and Physiographic Diversity for Climate Adaptation Planning. *PLoS ONE*, 10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143619>
- Tuffour, H. O., Abubakari, A., & Bashagaluke, J. B. (2016). *Mapping spatial variability of soil physical properties for site-specific management*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:55281888>
- Wang, J., Liu, Y., Wang, S., Liu, H., Fu, G., & Xiong, Y. (2019). Spatial distribution of soil salinity and potential implications for soil management in the Manas River watershed, China. *Soil Use and Management*, 36, 103–193. <https://doi.org/10.1111/sum.12539>
- Yuan, Y., Shi, X., & Zhao, Z. (2018). Land Use Types and Geomorphic Settings Reflected in Soil Organic Carbon Distribution at the Scale of Watershed. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/SU10103490>