



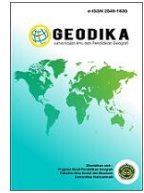
Website: <http://e-journal.hamzanwadi.ac.id/index.php/gdk>



GEODIKA
Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi

Terakreditasi S5 – SK No. 177/E/KPT/2024

Penerbit: Universitas Hamzanwadi



ANALISIS MORFOMETRI SUB-DAS KALI MADIUN UNTUK MENENTUKAN POTENSI INFILTRASI CEKUNGAN AIR TANAH (CAT) NGAWI-PONOROGO

Dwi Vina Febrim^{1*}, Hamani², Sundus Ghaida Noor Azizah³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Ogan Ilir, Indonesia

*Email Koresponden: dwivinafebrim@ft.unsri.ac.id

Diterima: 19-03-2026, Revisi: 07-05-2026, Disetujui: 13-05-2026

©2026 Universitas Hamzanwadi

Abstrak. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh belum tersedianya data terintegrasi tentang morfometri dan potensi infiltrasi sub-DAS Kali Madiun di Cekungan Air Tanah (CAT) Ngawi-Ponorogo untuk mendukung pengelolaan airtanah berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik morfometri dan potensi infiltrasi sub-DAS Kali Madiun di CAT Ngawi-Ponorogo, Jawa Timur. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui pengunduhan DEMNAS beresolusi 8 m dan peta administrasi wilayah dari Badan Informasi Geospasial (BIG), yang kemudian diolah dan dianalisis menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk menghitung parameter morfometri utama, meliputi aspek linear, areal, dan relief. Hasil menunjukkan kerapatan dan frekuensi sungai yang rendah, serta nilai infiltrasi 1,05 yang menandakan potensi infiltrasi sangat tinggi. Analisis relief memperlihatkan dominasi lereng datar hingga landai, sehingga sebagian besar sub-DAS menjadi zona imbuhan airtanah. Integrasi analisis morfometri dan spasial ini menjadi dasar penting pengelolaan dan konservasi sumber daya air, serta dapat direplikasi untuk memperkuat strategi ketahanan airtanah di DAS lain di Indonesia.

Kata kunci: CAT Ngawi-Ponorogo, Imbuhan, Morfometri, Sub-DAS Kali Madiun

Abstract. This study is motivated by the absence of integrated data on the morphometric characteristics and infiltration potential of the Kali Madiun sub-watershed in the Ngawi-Ponorogo Groundwater Basin (CAT), which are essential for sustainable groundwater management. The aim of this research is to analyze the morphometric characteristics and infiltration potential of the Kali Madiun sub-watershed in the Ngawi-Ponorogo CAT, East Java. Data collection was carried out by downloading 8 m resolution DEMNAS and administrative maps from the Geospatial Information Agency (BIG), which were then processed and analyzed using Geographic Information Systems (GIS) to calculate key morphometric parameters, including linear, areal, and relief aspects. The results show low stream density and frequency, as well as an infiltration value of 1.05, indicating a very high infiltration potential. Relief analysis also reveals a predominance of flat to gently sloping terrain, resulting in most of the sub-watershed serving as a groundwater recharge zone. The integration of morphometric and spatial analysis provides an important foundation for water resource management and conservation, and can be replicated to strengthen groundwater resilience strategies in other watersheds in Indonesia.

Keywords: Ngawi-Ponorogo Groundwater Basin, Recharge, Morphometry, Kali Madiun Sub-watershed

PENDAHULUAN

Ketersediaan air tanah yang berkelanjutan merupakan tantangan di berbagai negara, termasuk Indonesia, seiring dengan meningkatnya tekanan akibat peningkatan jumlah penduduk, urbanisasi, penarikan air tanah yang tidak terkendali, perubahan tata guna lahan, dan perubahan iklim. Proses infiltrasi, yaitu masuknya air hujan ke bawah permukaan untuk kemudian menjadi cadangan air tanah, merupakan satu faktor yang memengaruhi ketersediaan air tanah. Jika pemanfaatan airtanah melebihi jumlah ketersediaannya, maka akan mengakibatkan penurunan tinggi muka airtanah yang besar, sehingga dapat terjadi kerusakan pada sumber airtanah (Hendrayana et al., 2019). Identifikasi potensi infiltrasi

menjadi sangat penting untuk mendukung upaya konservasi dan pengelolaan sumber daya air secara terpadu antara daerah aliran sungai dan cekungan airtanah.

Faktor-faktor utama yang memengaruhi infiltrasi air permukaan menjadi air tanah salah satunya adalah sumber air seperti curah hujan dan kedekatannya dengan jaringan sungai atau saluran air (El-Bagoury et al., 2025). Salah satu pendekatan untuk mengkaji faktor-faktor tersebut adalah melalui analisis morfometri DAS, yang telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian untuk mengevaluasi tingkat infiltrasi dan risiko banjir. Daerah Aliran Sungai (DAS) berperan penting dalam siklus hidrologi, di mana karakteristik morfometri DAS seperti kerapatan sungai (*drainage density*) dan frekuensi sungai (*stream frequency*) dapat digunakan untuk memperkirakan dinamika infiltrasi dan potensi imbuhan air tanah.

Penelitian-penelitian terdahulu telah menyoroiti pentingnya analisis parameter morfometri dalam memahami karakteristik dan pengelolaan daerah aliran sungai (DAS). Strategi perencanaan dan pengelolaan sumber daya air di suatu DAS sangat dipengaruhi oleh karakteristik cekungan, di mana pemahaman terhadap jenis batuan dan struktur geologi dalam pembentukan jaringan sungai dapat diperoleh melalui analisis pola sungai serta analisis morfometri secara kuantitatif (Patil & Bhagawat, 2023). Pendekatan GIS telah menjadi teknik yang paling efektif untuk menganalisis berbagai parameter morfometri (Shekar & Mathew, 2024). Penggunaan GIS bermanfaat untuk mendukung pengambilan keputusan dalam pengembangan cekungan yang berkelanjutan, penganggaran air, mitigasi bencana, perencanaan pasokan air, dan pengendalian banjir di wilayah DAS (Lopez-Ramos et al., 2022). Analisis morfometri dapat memberikan informasi mengenai hubungan antara karakteristik hidrogeologi suatu wilayah dengan pola sungainya, serta memungkinkan penentuan tingkat infiltrasi dan limpasan permukaan dalam suatu DAS (Singh et al., 2021).

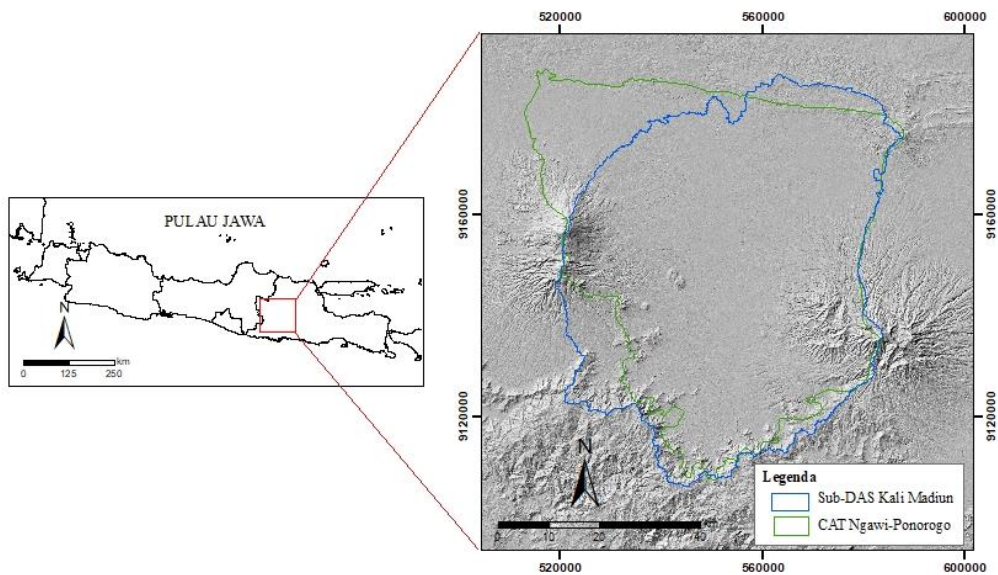
Berbeda dari penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini menyoroiti integrasi analisis morfometri dan potensi infiltrasi berbasis data DEMNAS resolusi tinggi untuk pemetaan zona imbuhan airtanah secara detail pada sub-DAS Kali Madiun, yang belum pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya di wilayah CAT Ngawi-Ponorogo. Di Indonesia, beberapa penelitian terkait analisis morfometri DAS di wilayah tropis telah dilakukan. Namun, kajian yang secara spesifik mengintegrasikan analisis morfometri dengan identifikasi potensi infiltrasi pada sub-DAS di kawasan cekungan air tanah (CAT), terutama di sub-DAS Kali Madiun yang berada pada CAT Ngawi-Ponorogo, masih sangat terbatas. Padahal, kawasan ini menghadapi tantangan besar terkait penurunan muka air tanah akibat perubahan tata guna lahan dan meningkatnya kebutuhan air.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis morfometri sub-DAS Kali Madiun di kawasan CAT Ngawi-Ponorogo, Jawa Timur, Indonesia. Studi ini memanfaatkan model elevasi Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) beresolusi tinggi. Selain itu penelitian ini juga memanfaatkan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk menganalisis aspek-aspek morfometri di sub-DAS Kali Madiun dikaitkan dengan potensi infiltrasi di CAT Ngawi-Ponorogo. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan diharapkan dapat direplikasi untuk mengevaluasi kapasitas imbuhan air tanah di wilayah tropis lain. Selain itu semoga dapat menjadi dasar ilmiah yang kuat bagi perencanaan pengelolaan dan konservasi air tanah yang berkelanjutan di CAT Ngawi-Ponorogo. Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu pengambil keputusan, legislator, dan pengelola sumber daya air dalam merumuskan strategi ketahanan air regional berbasis data spasial dan ilmiah.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Studi ini dilakukan pada sub-DAS Kali Madiun yang terletak di wilayah CAT Ngawi-Ponorogo, Jawa Timur, Indonesia. Area studi mencakup daerah di Kabupaten Ngawi, Kabupaten Ponorogo, Kabupaten Magetan, Kabupaten Wonogiri, dan Kota Madiun. CAT Ngawi-Ponorogo memiliki irisan seluas 3321 km² dengan Sub-DAS Kali Madiun, sehingga mayoritas air tanah, baik akuifer tertekan maupun bebas di CAT tersebut, berasal dari infiltrasi air permukaan yang terjadi di wilayah DAS (Gambar 1).



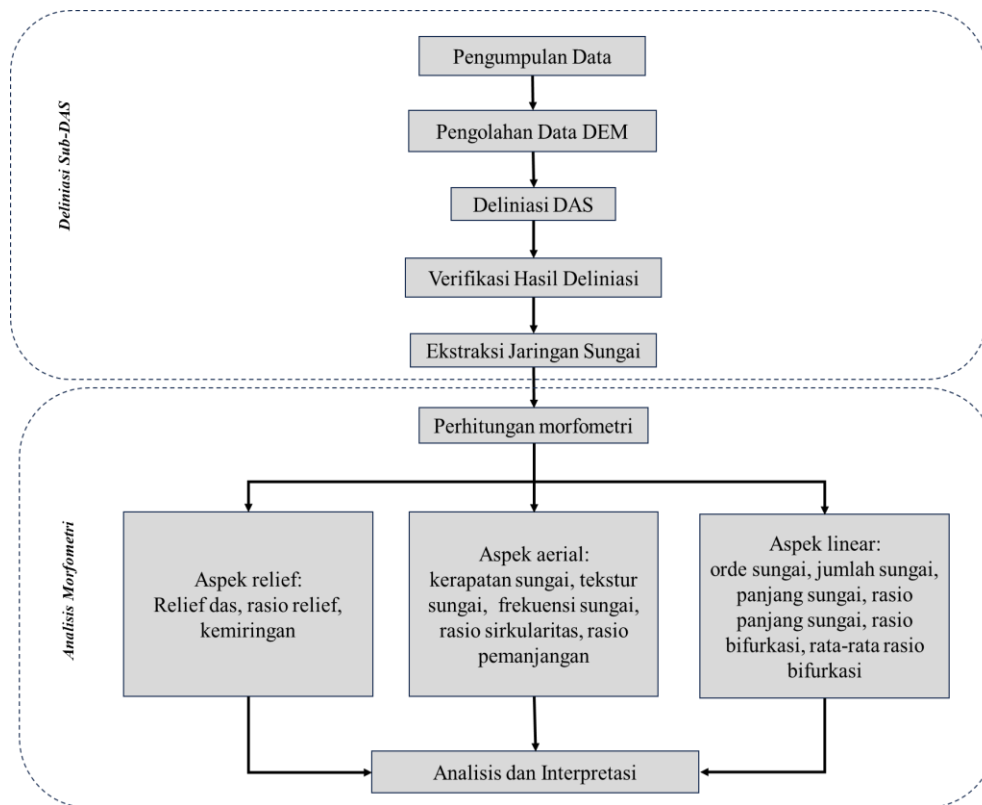
Gambar 1. Lokasi Penelitian
(Sumber: Rancangan peneliti, 2026)

Data dan Sumber Data

Penelitian ini memanfaatkan data topografi dan data administrasi wilayah yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Data topografi berupa Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) beresolusi 8 meter. DEMNAS digunakan untuk memperoleh informasi terkait bentuk permukaan lahan, ketinggian, kemiringan lereng, serta untuk analisis morfometri daerah aliran sungai (DAS). Selain itu, penelitian ini memanfaatkan peta administrasi Indonesia sebagai dasar penentuan batas-batas wilayah administrasi, seperti provinsi dan kabupaten yang termasuk dalam area studi. Kombinasi kedua data tersebut memungkinkan analisis spasial yang lebih akurat dan relevan dalam mengkaji karakteristik sub-DAS Kali Madiun di wilayah CAT Ngawi-Ponorogo. Adapun batas wilayah CAT diidentifikasi berdasarkan Peta Cekungan Air Tanah Jawa Timur yang diterbitkan oleh Badan Geologi Kementerian ESDM. Secara geologi, sub-CAT Ngawi-Ponorogo terletak di wilayah vulkanik, dengan sistem akuifer yang berbeda pada tiap zona. Di daerah lembah, akuifer tersusun oleh media berpori dengan litologi aluvium dan piroklastik, sedangkan di area puncak gunung kombinasi media rekahan berupa lava dan media berpori berupa piroklastik. Kondisi litologi tersebut sangat mendukung terjadinya infiltrasi di area sub-DAS tersebut.

Tahapan Penelitian

Sejumlah tahapan metodologis yang terdiri dari delineasi sub-DAS dan analisis morfometri dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian. Setiap tahapan disusun secara sistematis agar hasil yang diperoleh dapat menggambarkan karakteristik fisik dan hidrologis sub-DAS Kali Madiun secara komprehensif. Dalam penelitian ini, delineasi dan analisis morfometri sub-DAS Kali Madiun dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) ArcGIS 10.8. untuk mengolah data Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) beresolusi tinggi. Gambar 2 memperlihatkan tahapan penelitian yang dilaksanakan.



Gambar 2. Tahapan penelitian
(Sumber: Rancangan Peneliti, 2026)

Delineasi Sub-DAS

Delineasi Sub-DAS merupakan proses penentuan batas-batas suatu sub-daerah aliran sungai berdasarkan topografi dan arah aliran air permukaan. Analisis hidrologi diawali dengan tahap *fill* untuk menghilangkan cekungan pada data DEM, kemudian dilanjutkan dengan flow direction untuk membuat arah aliran air dari setiap sel. Tahap *flow accumulation* ditugaskan untuk menghitung akumulasi debit dan mengidentifikasi jalur utama aliran serta jaringan sungai pada sub-DAS. Setelah itu, dilakukan penentuan titik *outlet* sebagai acuan dalam delineasi batas sub-DAS. Titik *outlet* berada pada koordinat UTM 49S: 550553 mE, 9183422 mN.

Jaringan sungai yang telah diidentifikasi selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan *stream order*, kemudian diubah dari data raster menjadi data vektor melalui proses *vectorization* agar dapat dianalisis lebih lanjut pada perangkat lunak ArcGIS. Batas sub-DAS yang telah terbentuk kemudian diverifikasi dengan peta administrasi dan poligon CAT Ngawi-Ponorogo. Hasil delineasi ini menjadi dasar analisis morfometri berikutnya dan sangat penting untuk menganalisis potensi infiltrasi air permukaan di sub-DAS Kali Madiun menjadi air tanah di CAT Ngawi-Ponorogo.

Perhitungan Morfometri

Analisis morfometri merupakan proses kuantitatif untuk mengukur dan mengevaluasi bentuk, ukuran, dan karakteristik fisik suatu daerah aliran sungai (DAS) atau sub-DAS berdasarkan parameter-parameter tertentu. Analisis ini dilakukan dengan memanfaatkan data permukaan bumi, seperti Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS), serta perangkat lunak pemetaan digital seperti ArcGIS untuk memperoleh data spasial yang akurat. Umumnya, parameter morfometri yang dikaji mencakup aspek linear (misalnya orde sungai, jumlah sungai, panjang sungai, rasio panjang sungai, rasio bifurkasi, rata-rata rasio bifurkasi), aspek areal (seperti kerapatan sungai, tekstur sungai, frekuensi sungai, rasio sirkularitas, rasio pemanjangan), dan aspek relief (misalnya relief cekungan, rasio relief, dan kemiringan) yang diolah berdasarkan rumus di Tabel 1. Melalui analisis morfometri, karakteristik fisik dan dinamika hidrologi sub-DAS dapat dikaji secara komprehensif untuk mengetahui potensi infiltrasi. Hasil analisis ini sangat

penting sebagai dasar pengelolaan sumber daya air, perencanaan konservasi lahan, serta penentuan strategi mitigasi bencana di wilayah DAS atau sub-DAS yang diteliti.

Analisis dan Interpretasi

Analisis spasial dilakukan dengan menghitung nilai morfometri dan angka infiltrasi dari CAT Ngawi-Ponorogo. Menurut Faniran (1968) laju infiltrasi yang lebih rendah dan limpasan permukaan yang lebih tinggi biasanya terkait dengan angka infiltrasi yang lebih besar (El Brahimi et al., 2024). Wilayah dengan frekuensi sungai yang tinggi memiliki laju infiltrasi yang kecil, yang menyebabkan peningkatan limpasan permukaan dan penurunan pengisian ulang airtanah (Zaid et al., 2025). Hasil dari nilai D_d (*drainage density*) dan F_s (*stream frequency*) memberikan gambaran mengenai karakteristik infiltrasi pada suatu daerah tangkapan air.

Tabel 1. Ringkasan rumus dalam analisis morfometri dan imbuhan di DAS

No.	Parameter	Rumus	Rujukan
1	Orde sungai (S_o)	Rangking hirarkis	(A. Strahler, 1964)
2	Jumlah sungai	Jumlah sungai menurut tingkat orde	(A. Strahler, 1964)
3	Panjang sungai (L_u)	Panjang sungai	(Horton, 1945)
4	Rata-rata panjang sungai (L_{sm})	$L_{sm} = L_u / N_u$	(Horton, 1945)
5	Rasio panjang sungai (R_L)	$R_L = L_u / L_{(u+1)}$	(Horton, 1945)
6	Form Factor (F_f)	$F_f = A / L^2$	(Horton, 1945)
7	Frekuensi sungai (F_d)	$F_d = N / A$	(Horton, 1945)
8	Densitas Sungai (D_d)	$D_d = L / A$	(Horton, 1945)
9	Drainage tekstur (T)	$T = N / P$	(Smith, 1950)
10	Rasio bifurkasi (R_b)	$R_b = N_u / N_{(u+1)}$	(Schumm, 1963)
11	Rasio pemanjangan (R_c)	$R_c = 1,128 \cdot (A)^{-0.5} / L$	(Schumm, 1963)
12	Rasio bifurkasi rata-rata (R_{bm})	Rata-rata dari rasio bifurkasi	(A. N. Strahler, 1957)
13	Relief (R)	$R = H - h$	(Hadley & Schumm, 1961)
14	Rasio relief (R_r)	$R_r = R / L$	(Schumm, 1963)
15	Rasio sirkularitas (R_c)	$R_c = 4\pi A / P^2$	(A. Strahler, 1964)
16	Angka infiltrasi (I_f)	$I_f = D_d \cdot F_d$	(Faniran, 1968)

Singkatan: A = area dari DAS (km^2), D_d = densitas sungai (km/km^2), F_f = form factor, F_d = frekuensi sungai (km^{-2}), L = total panjang sungai di semua orde (km), L_{sm} = rata-rata panjang sungai, L_{u+1} = total panjang sungai di orde yang lebih tinggi dari u, L_u = total panjang sungai di orde u, N_{u+1} = jumlah segmen sungai di orde selanjutnya, N_u = jumlah segmen sungai di orde u, P = keliling DAS (km), R_b = rasio bifurkasi, R_c = rasio sirkularitas, R_c = Rasio pemanjangan, R_L = Rasio panjang sungai, T = tekstur sungai, $\pi = 22/7$

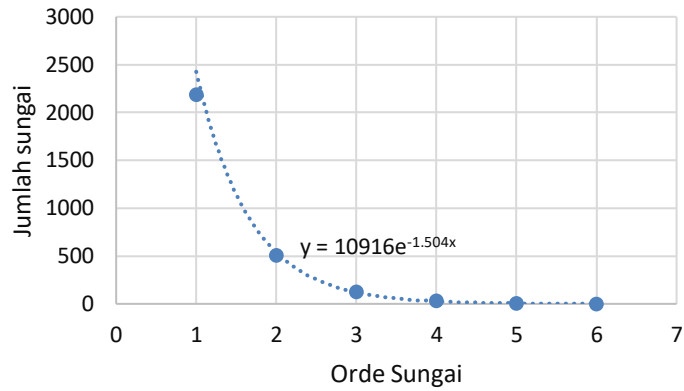
Sumber: Elhag et al., 2017

TEMUAN DAN PEMBAHASAN

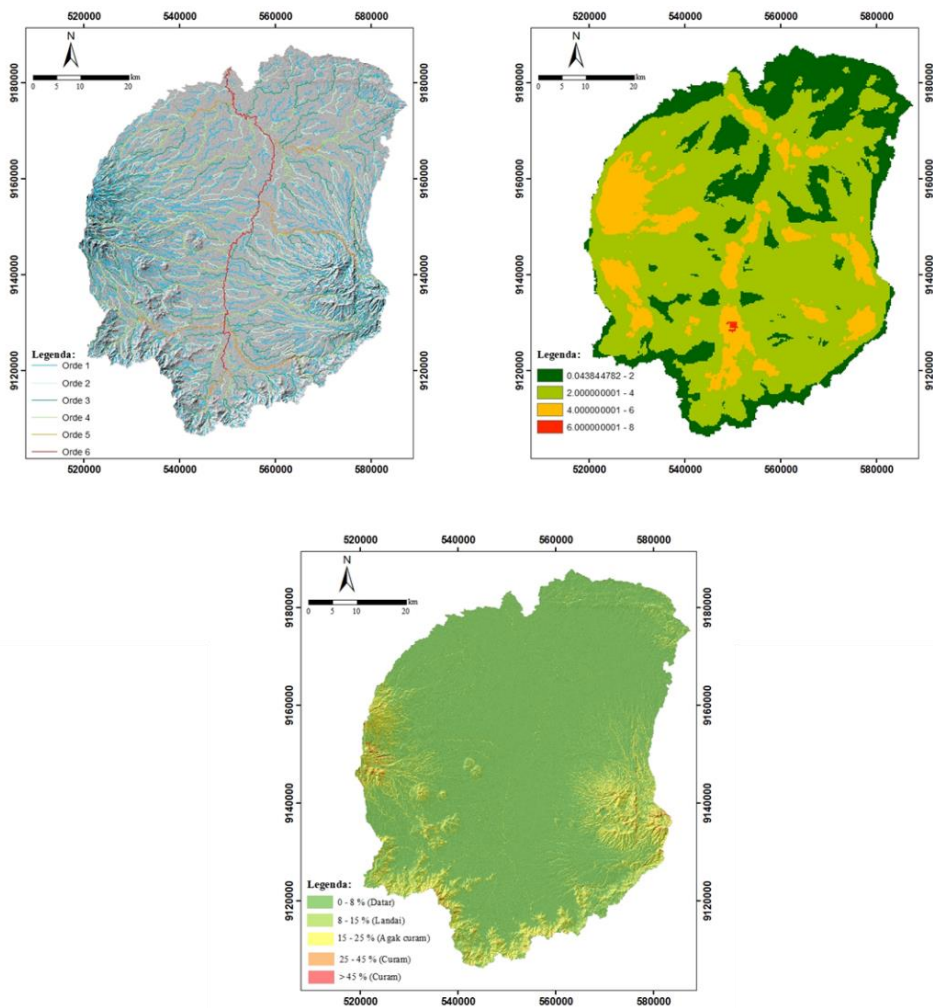
Karakteristik Morfometri Sub-DAS Kali Madiun

Analisis kuantitatif parameter linier sub-DAS Kali Madiun

Terdapat enam orde sungai dengan orde VI memiliki jumlah segmen sungai satu dan orde I memiliki jumlah sungai 2190. Pola sungai bertipe paralel, yaitu pola sungai-sungai yang mengalir sejajar satu sama lain akibat kemiringan lereng yang seragam. Hubungan antara orde sungai dan jumlah sungai menunjukkan pola penurunan eksponensial, di mana semakin tinggi orde sungai, jumlah sungai berkurang secara signifikan (Gambar 3). Fenomena ini sesuai dengan prinsip hukum Horton, yang menyatakan bahwa jumlah sungai menurun seiring meningkatnya orde sungai. Hal ini mencerminkan struktur hierarkis jaringan sungai di sub-DAS Kali Madiun, yang didominasi oleh sungai-sungai berorde rendah sebagai anak sungai dan hanya sedikit sungai utama berorde tinggi. Peta orde sungai pada Gambar 4a memperlihatkan distribusi spasial jaringan sungai, di mana sungai orde I tersebar luas di wilayah hulu, khususnya pada puncak Gunung Lawu dan Gunung Liman. Sementara itu, sungai-sungai utama dengan orde lebih tinggi umumnya berada di bagian hilir, yaitu di lembah di antara kedua gunung tersebut. Perhitungan karakteristik linier sub-DAS dapat dilihat di Tabel 2.



Gambar 3. Hubungan antara orde dan jumlah sungai di Sub-DAS Kali Madiun (Sumber: Hasil olahan data primer, 2026)



Gambar 4. a) Orde sungai, b) Densitas Sungai, c) kemiringan sub-DAS Kali Madiun (Sumber: Hasil olahan data sekunder, 2026)

Panjang total sungai pada sub-DAS Kali Madiun dihitung berdasarkan penjumlahan panjang seluruh segmen sungai dari setiap orde sungai. Berdasarkan hasil analisis, orde I memiliki total panjang sungai terbesar karena jumlah segmennya paling banyak, sedangkan orde tertinggi (orde VI) hanya memiliki satu segmen dengan panjang yang relatif lebih besar dibandingkan dengan segmen pada orde rendah. Rata-rata panjang sungai pada setiap orde dihitung dengan membagi total panjang sungai pada orde tersebut dengan jumlah segmen sungai yang ada. Nilai rata-rata panjang ini umumnya meningkat

seiring dengan bertambahnya orde sungai, karena sungai-sungai utama (orde tinggi) cenderung memiliki lintasan yang lebih panjang (Tabel 2).

Tabel 2. Aspek Linear sub-DAS Ngawi-Ponorogo

Orde sungai	Jumlah sungai	Rasio bifurkasi	Rata-rata bifurkasi	Panjang total sungai	Rata-rata panjang sungai	Rasio panjang sungai
I	2190		4.78	2393.12	897.23	
II	505	4.34		1431.45		1.67
III	127	3.98		772.02		1.85
IV	33	3.85		555.09		1.39
V	7	4.71		138.60		4.00
VI	1	7.00		93.07		1.49
Total	2863	23.88		5383.36		10.41

Sumber: Hasil olahan data primer, 2026

Selain itu, rasio panjang sungai (*stream length ratio*) turut dianalisis pada setiap orde sungai dengan cara membandingkan rata-rata panjang sungai pada suatu orde terhadap rata-rata panjang sungai pada orde di bawahnya. Nilai rasio panjang sungai pada sub-DAS Kali Madiun umumnya berkisar di angka satu, namun orde V memiliki nilai rasio mencapai 4. Secara umum, rasio panjang sungai yang mendekati satu menandakan perkembangan jaringan sungai yang relatif seragam antar orde sungai. Namun, adanya nilai rasio yang lebih tinggi, seperti 4, menunjukkan kemungkinan adanya pengaruh faktor morfologi lokal, perubahan topografi, atau struktur geologi yang menyebabkan segmen sungai pada orde tertentu menjadi jauh lebih panjang dibandingkan orde sebelumnya.

Rasio bifurkasi (*bifurcation ratio*, Rb) merupakan jumlah sungai pada suatu orde tertentu dengan dibagi jumlah sungai pada orde berikutnya yang lebih tinggi. Parameter ini digunakan untuk menilai tingkat percabangan jaringan sungai serta pengaruh struktur geologi dan morfologi terhadap perkembangan sistem sungai. Nilai Rb kurang dari 5 umumnya menunjukkan litologi yang homogen dan pola percabangan sungai yang terstruktur (Albaroot et al., 2018). Pada Sub-DAS Kali Madiun, nilai rasio bifurkasi berkisar antara 3,0 hingga 5,0, yang menandakan batuan dasar relatif homogen dan minim pengaruh struktur geologi, sedangkan nilai yang lebih tinggi, seperti 7, mengindikasikan adanya pengaruh geologi yang lebih kuat.

Rata-rata rasio bifurkasi diperoleh dengan menghitung nilai rata-rata dari seluruh rasio bifurkasi antarorde pada suatu DAS atau sub-DAS. Umumnya, nilai rata-rata rasio bifurkasi (Rb) yang berada pada kisaran 3,0 hingga 5,0 menunjukkan bahwa sistem sungai berkembang secara alami tanpa pengaruh signifikan dari struktur geologi (Najia et al., 2021). Pada sub-DAS Kali Madiun, nilai rata-rata rasio bifurkasi sebesar 4,78 yang termasuk dalam rentang tersebut, mengindikasikan bahwa pola percabangan sungai di wilayah ini terbentuk secara alami dan struktur geologi tidak memberikan pengaruh yang dominan terhadap jaringan sungainya.

Analisis kuantitatif parameter aerial sub-DAS Kali Madiun

Analisis kuantitatif parameter aerial sub-DAS Kali Madiun dapat dilihat pada Tabel 3. Frekuensi sungai (Fs) adalah jumlah segmen sungai per satuan luas. Nilai frekuensi sungai akan menurun seiring dengan meningkatnya orde sungai. Nilai frekuensi sungai yang tinggi menandakan jaringan sungai yang efisien dan cepat dalam merespons curah hujan, sehingga meningkatkan risiko limpasan dan erosi. Sebaliknya, nilai frekuensi sungai yang rendah menunjukkan jaringan sungai yang kurang berkembang, laju aliran permukaan yang lebih lambat, dan potensi infiltrasi yang lebih besar (Revuelta-Acosta et al., 2025). Nilai frekuensi sungai pada sub-DAS Kali Madiun sebesar 0,75 menunjukkan jumlah segmen sungai yang relatif sedikit per satuan luas wilayah. Nilai ini mengindikasikan bahwa daerah tersebut memiliki intensitas limpasan permukaan yang rendah dan potensi infiltrasi yang cukup baik, sejalan dengan karakteristik densitas sungai yang juga rendah pada sub-DAS ini.

Nilai densitas sungai dihitung dengan membagi total panjang seluruh sungai dengan luas DAS atau sub-DAS. Smith (1950) membagi 5 kelas densitas sungai berupa <2 sangat kasar, 2-4 kasar, 4-6 sedang, 6-8 halus, dan > 8 sangat halus (Aldharab et al., 2019). Lebih lanjut, Aldharab et al. (2019) juga menjelaskan bahwa nilai densitas sungai yang rendah terdapat pada daerah dengan batuan yang sangat resisten atau material bawah permukaan yang permeabel, tumbuhan yang lebat, dan relief yang rendah; sedangkan nilai densitas sungai bernilai tinggi ditemukan pada material bawah permukaan yang lemah atau tidak permeabel, relief pegunungan, dan vegetasi yang jarang. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai densitas sungai pada sub-DAS Kali Madiun sebesar rata-rata 1,4 km/km² (Gambar 4b), yang tergolong rendah menurut standar umum DAS atau sub-DAS. Densitas sungai yang rendah ini mengindikasikan tingginya permeabilitas tanah, topografi landai, dan tutupan vegetasi yang masih baik, sehingga air hujan lebih banyak masuk ke bawah permukaan dan risiko erosi maupun banjir menjadi kecil (Mahala, 2020).

Tekstur sungai dihitung dengan membagi jumlah segmen sungai terhadap keliling DAS atau sub-DAS. Berbagai faktor alami memengaruhi nilai tekstur ini, seperti tahap perkembangan cekungan, relief, kapasitas infiltrasi, jenis batuan dan tanah, vegetasi, curah hujan, hingga iklim setempat., di mana batuan lunak tanpa tutupan vegetasi cenderung menghasilkan tekstur halus dan batuan resisten menghasilkan tekstur kasar, sementara Horton menekankan kapasitas infiltrasi sebagai faktor terpenting yang mempengaruhi tekstur sungai, yang nilainya secara langsung berkaitan dengan densitas sungai dan frekuensi sungai serta dinyatakan sebagai hasil perkalian keduanya (Kamala & Samynathan, 2018). Nilai tekstur sungai (tekstur sungai) pada DAS atau sub-DAS Kali Madiun sebesar 8,5. Menurut klasifikasi Smith (1950) dalam Makhamreh et al. (2020), nilai tekstur sungai di atas 8 termasuk dalam kategori sedang (*moderate*). Tekstur sungai yang sedang mengindikasikan keseimbangan antara infiltrasi dan limpasan serta tingkat resitensi batuan sedang.

Tabel 3. Parameter aerial sub-DAS Kali Madiun

Luas sub-DAS (km ²)	Keliling (km)	Panjang (km)	Frekuensi sungai (km ⁻²)	Densitas sungai (km/km ²)	Tekstur sungai	Faktor bentuk	Rasio pemanjangan	Rasio sirkularitas
3838,38	335,82	112,05	0,75	1,40	8,53	0,31	0,62	0,43

Sumber: Hasil olahan data primer, 2026

Faktor bentuk dan rasio pemanjangan mengindikasikan bentuk DAS atau sub-DAS dan memengaruhi respons banjir serta potensi infiltrasi. Rasio sirkularitas menunjukkan tingkat kebulatannya dan berkaitan dengan relief serta efisiensi aliran permukaan. Nilai faktor bentuk, rasio pemanjangan, dan rasio sirkularitas sebesar 0,31, 0,62, dan 0,43 masing-masing pada sub-DAS Kali Madiun, mengindikasikan bahwa bentuk sub-DAS ini cenderung memiliki waktu konsentrasi aliran permukaan yang lebih lama, sehingga puncak debit banjir lebih rendah dan risiko banjir mendadak menjadi lebih kecil dibandingkan sub-DAS yang berbentuk bulat. Selain itu, peluang terjadinya infiltrasi meningkat karena air hujan membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai outlet sub-DAS, sehingga lebih banyak yang dapat meresap ke dalam tanah., sehingga mendukung peran sub-DAS sebagai zona imbuan airtanah (Pastor et al., 2024).

Analisis kuantitatif parameter relief sub-DAS Kali Madiun

Nilai relief pada sub-DAS Kali Madiun adalah 3204 meter, dengan elevasi minimum 28 m dan maksimum 3232 m di atas permukaan laut. Relief ratio sebesar 0,03 menunjukkan perbedaan ketinggian yang cukup besar antara bagian terendah dan tertinggi wilayah studi, namun dengan tingkat kemiringan umum sub-DAS yang masih dalam kategori landai hingga sedang. Karena air butuh waktu lebih lama untuk mulai mengalir pada lahan yang landai, tanah punya waktu ekstra untuk menyerap air hujan sebelum air tersebut mulai mengalir turun (morbidelli et al., 2018). Berdasarkan peta kemiringan lereng (*slope*), mayoritas area sub-DAS didominasi oleh kemiringan datar hingga landai, yang meningkatkan potensi infiltrasi air hujan ke dalam tanah. Wilayah puncak gunung di bagian timur dan barat umumnya memiliki kemiringan lereng yang lebih terjal dibandingkan area lainnya (Gambar 4c), sementara sebagian besar wilayah lainnya tetap memberikan peluang yang baik untuk terjadinya infiltrasi.

Hubungan Parameter Morfometri dan Potensi Infiltrasi

Analisis morfometri yang telah dilakukan pada sub-DAS Kali Madiun menunjukkan bahwa wilayah ini didominasi oleh nilai densitas sungai dan frekuensi sungai yang rendah. Kondisi tersebut tercermin pada nilai angka infiltrasi (*infiltration number*) yang diperoleh sebesar 1,05. Angka infiltrasi yang rendah mencerminkan kemampuan tanah yang sangat baik dalam menyerap air hujan, sehingga air yang turun ke permukaan cenderung masuk ke dalam tanah dibandingkan mengalir di atas permukaan sebagai limpasan (Zaid et al., 2025). Hal ini umumnya didukung oleh karakteristik tanah yang permeabel dan topografi yang landai di sebagian besar wilayah sub-DAS. Dengan demikian, sub-DAS Kali Madiun sangat berpotensi sebagai zona imbuhan airtanah dan memiliki risiko banjir permukaan yang rendah. Integrasi hasil analisis morfometri ini sangat penting untuk mendukung pengelolaan serta konservasi sumber daya air secara berkelanjutan di Sub-DAS Kali Madiun.

SIMPULAN

Delineasi sub-DAS Kali Madiun di wilayah CAT Ngawi-Ponorogo berhasil dilakukan dengan menggunakan data DEMNAS dan peta administrasi, yang menunjukkan karakteristik dominan berupa lereng landai hingga sedang, aliran sungai utama berpola paralel, dan batas wilayah yang jelas. Analisis morfometri mengungkapkan bahwa sub-DAS ini memiliki enam orde sungai dengan jumlah segmen yang menurun secara eksponensial, densitas dan frekuensi sungai yang rendah, serta tekstur sungai sangat kasar. Bentuk sub-DAS yang memanjang, rasio sirkularitas 0,43, relief ratio 0,03, dan nilai rata-rata rasio bifurkasi yang normal mendukung pola sungai yang berkembang alami dan potensi infiltrasi yang tinggi. Nilai infiltrasi sebesar 1,05 mengindikasikan bahwa sebagian besar air hujan dapat diabsorpsi oleh tanah, sehingga sub-DAS Kali Madiun berfungsi sebagai zona imbuhan airtanah dengan risiko limpasan permukaan yang rendah. Secara keseluruhan, analisis morfometri yang komprehensif ini memberikan dasar penting bagi pengelolaan dan konservasi sumber daya air berkelanjutan, serta menegaskan perlunya integrasi data spasial dan morfometri dalam perencanaan zona imbuhan dan strategi ketahanan airtanah di sub-DAS Kali Madiun.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldharab, H. S., Ali, S. A., & Ghareb, J. I. S. A. (2019). Analysis of Basin Geometry in Ataq Region, Part of Shabwah Yemen: Using Remote Sensing and Geographic Information System Techniques. *Bulletin of Pure & Applied Sciences- Geology*, 38f(1), 1–15.
- El Brahimi, M., Mastere, M., Benzougagh, B., El Fellah, B., Fartas, N., Ladel, L., Sbihi, A., Turyasingura, B., Alsulamy, S., Khedher, K. M., Shohan, A. A. A., Salem, M. A., & Alluqmani, A. E. (2024). Assessing soil erosion vulnerability through geospatial morphometric analysis in the Oued Amter Basin (Northwest Morocco). *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 9(3), 1157–1180.
- El-Bagoury, H., Darwish, M. H., Hassan, S. H. A., Oh, S. E., Attia, K. A., & Megahed, H. A. (2025). Potentiality Delineation of Groundwater Recharge in Arid Regions Using Multi-Criteria Analysis. *Water (Switzerland)*, 17(5), 1–27.
- Elhag, M., Galal, H., & Alsubaie, H. (2017). Understanding of Morphometric Features for an Adequate Water Resources Management in Arid Environments. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 6(2), 293–300.
- Hendrayana, H., Riyanto, I. A., & Nuha, A. (2020). Tingkat Pemanfaatan Airtanah di Cekungan Airtanah (CAT) Yogyakarta-Sleman. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, 4(2), 127-137.
- Kamala, M., & Samynathan, M. (2018). Morphometric Analysis of Drainage Basin Using GIS Techniques A Case Study of Amaravathi River Basin, Tamilnadu. *International Journal of Recent Scientific Research*, 9(7), 28142–28147.
- López-Ramos, A., Medrano-Barboza, J. P., Martínez-Acosta, L., Acuña, G. J., Remolina López, J. F., & López-Lambraño, A. A. (2022). Assessment of Morphometric Parameters as the Basis for Hydrological Inferences in Water Resource Management: A Case Study from the Sinú River Basin in Colombia. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(9), 1–24.

- Mahala, A. (2020). The significance of morphometric analysis to understand the hydrological and morphological characteristics in two different morpho-climatic settings. *Applied Water Science*, 10, 33.
- Makhamreh, Z., Al-Hawary, M., & Odeh, S. (2020). Assessment of Morphometric Characteristics of Wadi Al-Shumar Catchment in Jordan. *Open Journal of Geology*, 10(02), 155–170.
- Morbidelli, R., Saltalippi, C., Flammini, A., & Govindaraju, R. S. (2018). Role of slope on infiltration: A review. *Journal of hydrology*, 557, 878-886.
- Najia, F., Bouchta, E. F., Mohamed, M., & Brahim, B. (2021). Evaluation of morphometric parameters and prioritization of the Oued Joumouaa watershed. *Ecology, Environment and Conservation*, 27, 403-419.
- Pastor, I., Tanislav, D., Nedelea, A., Dunea, D., Serban, G., Haghghi, A. T., ... & Bretcan, P. (2024). Morphometric analysis and prioritization of sub-watersheds located in heterogeneous geographical units—case study: the Buzău River Basin. *Sustainability*, 16(17), 7567.
- Patil, S. K., & Bhagwat, T. N. (2023). Morphometric analysis and hydrological inferences for water resource management in Warana River basin of Maharashtra, India, using remote sensing and GIS. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 45(1), 113-120.
- Revuelta-Acosta, J. D., Garrido-Meléndez, J., Conde-Gutiérrez, R. A., & Alcalá-Perea, G. (2025). Comprehensive geospatial assessment: morphometric parameters and hydrological implications in five Mexican basins. *Scientific Reports*, 15(1), 21698.
- Shekar, P. R., & Mathew, A. (2024). Morphometric analysis of watersheds: A comprehensive review of data sources, quality, and geospatial techniques. *Watershed Ecology and the Environment*, 6, 13-25.
- Singh, W. R., Barman, S., & Tirkey, G. (2021). Morphometric analysis and watershed prioritization in relation to soil erosion in Dudhnai Watershed. *Applied Water Science*, 11(9), 1–12.
- Strahler, A. (1964). Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. Dalam Ven Te Chow (Ed.), *Handbook of Applied Hydrology* (hlm. 439–476). McGraw-Hill, New York.
- Zaid, P. O., Mamand, B. S., & Yashooa, N. K. (2025). Assessment of Infiltration Number through Drainage Morphometric Analysis in the Bahrka Region, Northern Erbil Basin. *The Iraqi Geological Journal*, 58(2E), 138-149.