



Analisis Spasial Keberlanjutan Sumber Mata Air dan Strategi Konservasi Berbasis Masyarakat di Wilayah Peri-Urban Kota Batu

Spatial Analysis of Spring Water Sustainability and Community-Based Conservation Strategies in Peri-Urban Batu

Abdullah Su'ada¹, Rizki Adhari¹, Maulidya Sekar Niscita Pambayun¹, Liberti Kalisna Dewi¹, Arya Hafidz Eka Putra¹, Annisa Maghfirots Sholihah¹, Afnan Dafa Saputra¹, Tito Aditya Utama¹, Vina Nurul Husna¹

¹ Department of Geography, Universitas Negeri Semarang

Article History

Received July 2026

Revised July 2026

Accepted August 2026

Keywords

Local Wisdom, Spring, Water Conservation

ABSTRAK

Mata air di kawasan pegunungan vulkanik Desa Oro-Oro Ombo memiliki peran ekologis dan sosial penting namun terancam krisis hidrologis akibat tekanan antropogenik dan alih fungsi lahan. Penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi biofisik dan spasial mata air serta peran masyarakat lokal dalam pelestariannya, menggunakan pendekatan campuran (mixed methods) yang menggabungkan pengukuran fisik lapangan, pemetaan spasial berbasis GIS, dan pengumpulan data kualitatif melalui wawancara serta observasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun akuifer batuan vulkanik mendukung retensi air, terjadi penyusutan debit signifikan di Sumber Dharmi dari 42 l/detik menjadi 32 l/detik, yang direspons melalui tiga pilar tata kelola lingkungan: adaptasi spasial berupa zonasi distribusi air antara HIPPAM dan Perumdam, konservasi vegetatif di area hulu melalui penanaman spesies pengikat air secara kolaboratif, serta sinergi sosiokultural yang memadukan kearifan lokal "Selamatan Sumber" dengan kebijakan formal seperti program "Satu Akte Satu Pohon" dan Perwali Nomor 18 Tahun 2020. Penelitian ini menyimpulkan bahwa keunggulan fisik alamiah semata tidak cukup untuk menjamin ketersediaan air jangka panjang, sehingga keberlanjutan sumber daya air sangat bergantung pada sinergi holistik dan inklusif antara adaptasi tata ruang, konservasi lingkungan, dan ketahanan sosiokultural kelembagaan.

ABSTRACT

Springs in the volcanic highland region of Oro-Oro Ombo Village perform vital ecological and social functions, yet are increasingly threatened by a hydrological crisis driven by anthropogenic pressure and widespread land-use change. This study aims to analyse the biophysical and spatial conditions of these springs and to examine the role of local communities in their conservation, employing a mixed-methods approach that combines field-based physical measurements, GIS-based spatial mapping, and qualitative data collection through in-depth interviews and observation. The findings reveal that although the volcanic rock aquifer characteristics are highly conducive to water retention, a significant decline in discharge has occurred at Sumber Dharmi, falling from 42 l/second to 32 l/second. In response to this water-quantity crisis, environmental governance has been implemented through three key pillars of adaptation: spatial adaptation via water-distribution zoning between HIPPAM and Perumdam; vegetative conservation in upstream areas through the collaborative planting of water-retaining plant species; and sociocultural synergy that integrates the local wisdom of "Selamatan Sumber" (spring purification ritual) with formal government policies, such as the "One Birth Certificate, One Tree" programme and Mayoral Regulation No. 18 of 2020. The study concludes that natural physical advantages alone are insufficient to ensure long-term water availability, and that the sustainability of water resources depends fundamentally on holistic and inclusive synergy among spatial adaptation, environmental conservation, and sociocultural-institutional resilience.

Corresponding Author:

Abdullah Suada  abdullahsuada8@students.unnes.ac.id  Department of Geography, Universitas Negeri Semarang, Semarang City, Central Java, Indonesia.

Pendahuluan

Air tanah yang memancar ke permukaan dalam bentuk mata air merupakan sumber daya vital bagi pemenuhan kebutuhan domestik dan pertanian, khususnya di wilayah topografi pegunungan vulkanik seperti Desa Oro-Oro Ombo. Secara hidrogeologis, kawasan yang terletak pada elevasi 1.200 hingga 1.320 mdpl ini tersusun atas formasi batuan beku jenis lava dan breksi dengan karakteristik tanah lempung berpasir yang secara alami berfungsi optimal sebagai akuifer penangkap air. Namun, potensi fisik yang besar ini kini menghadapi ancaman krisis hidrologis yang kompleks akibat tekanan antropogenik masif dan dinamika iklim lokal. Alih fungsi lahan akibat pembangunan infrastruktur dan pembukaan kanopi hutan di area hulu telah memicu peningkatan laju evaporasi dan penurunan kelembapan udara secara drastis hingga menyentuh angka 47% di titik elevasi tinggi seperti Coban Rais. Dampak paling krusial dari kerusakan ekologis ini adalah penurunan kuantitas air secara signifikan. Defisit pasokan air ini tidak hanya mengancam ketahanan pangan dan kebutuhan domestik, melainkan juga memicu kerentanan sosial-ruang yang memaksa dilakukannya manajemen distribusi ketat melalui pembagian zonasi antara organisasi swadaya masyarakat (HIPAM desa) dan wilayah formal Perumdam Among Tirta. Fenomena ini menegaskan kegagalan fungsi tangkapan air (catchment area) akibat tidak seimbangnya pemanfaatan ruang dengan daya dukung lingkungan, yang jika dibiarkan akan melanggar amanat Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air.

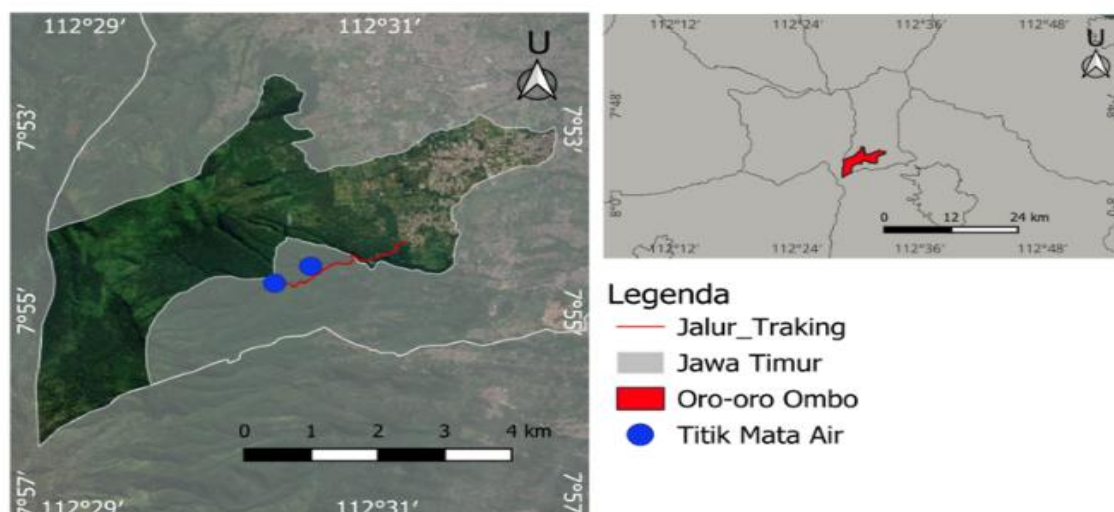
Kajian literatur sebelumnya telah banyak menyoroti pentingnya pendekatan berbasis masyarakat dalam pengelolaan sumber daya alam, salah satunya melalui penelitian (Aida et al., 2023) yang mengkaji praktik "Selamatan Andong Dabaran" sebagai bentuk pelestarian kebudayaan untuk melindungi mata air. Meskipun demikian, terdapat kesenjangan penelitian (research gap) yang mendasar karena studi terdahulu cenderung memisahkan kajian kultural dari analisis fisik-spasial, sehingga belum ada evaluasi komprehensif mengenai bagaimana nilai-nilai kearifan lokal berkolaborasi dengan aksi konservasi teknis dalam merespons fluktuasi distribusi air secara riil. Berangkat dari celah tersebut, kebaruan (novelty) dari penelitian ini terletak pada integrasi analisis sosio-spasial yang memadukan tinjauan fisik-geologis terhadap distribusi mata air di zona vulkanik dengan tinjauan multidimensi mengenai intervensi masyarakat lokal yang mencakup adaptasi tata ruang, konservasi vegetatif taktis, dan perlindungan kultural secara bersamaan.

Berdasarkan kompleksitas permasalahan dan kesenjangan teoretis tersebut, tujuan penelitian ini difokuskan untuk menganalisis kondisi biofisik mata air serta pola distribusinya di wilayah Desa Oro-Oro Ombo, sekaligus mengkaji secara mendalam peran komprehensif masyarakat dalam upaya pelestarian dan pengelolaan mata air sebagai respons terhadap krisis penurunan debit. Melalui pendekatan yang terintegrasi ini, penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis maupun praktis, serta melahirkan sintesis ilmiah baru yang mampu menjembatani kebijakan pelestarian lingkungan dengan kekuatan kearifan lokal yang adaptif dalam menjaga keberlanjutan sumber daya air di masa depan.

Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada tanggal 20-22 April 2026. Dengan wilayah penelitian mencakup sumber mata air yang digunakan oleh masyarakat Desa Oro-oro Ombo.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Metode Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini dikumpulkan melalui pendekatan kombinasi (mixed-method) yang mengintegrasikan data fisik-spasial secara kuantitatif serta data sosial secara kualitatif melalui metode in-situ dan ex-situ. Pengumpulan data secara in-situ dilakukan dengan merekam titik koordinat geografis dan elevasi tepat di lokasi munculnya air menggunakan perangkat Global Positioning System (GPS) hand-held (Bosi et al., 2026), mengukur parameter mikroklimat berupa suhu dan kelembapan udara menggunakan hygrometer (Frank & Massman, 2023), data debit luaran mata air secara kuantitatif melalui data sekunder yang bersumber dari pemberitaan media daring. Pengujian kualitas air secara in-situ juga mencakup pengukuran nilai pH dengan pH meter digital serta uji organoleptik untuk memeriksa tingkat kejernihan dan bau air (Farisi Idcha SA & Komarudin, 2024). Pemetaan tata guna lahan dilakukan menggunakan Geographic Information System (GIS) dengan batas radius buffer 50×50 meter dari pusat mata air (Tadese et al., 2020), ekstraksi data sekunder dari Peta Geologi Lembar Regional dan Peta Jenis Tanah (Hitouri et al., 2026), analisis kemiringan lereng (slope) berbasis data Digital Elevation Model atau DEM (Kiss et al., 2023), serta inventarisasi vegetasi penutup via Citra Satelit Google Earth (Musasa et al., 2025). Sementara itu, pengumpulan data sosial untuk mengukur variabel konservasi berbasis masyarakat, tingkat kepatuhan hukum, dan orientasi pola pemanfaatan air (Hasan et al., 2025) dilakukan menggunakan teknik wawancara mendalam bersama informan kunci seperti tokoh masyarakat dan warga pengguna air, yang diperkuat dengan studi dokumentasi terhadap regulasi terkait (Chunwate et al., 2026).

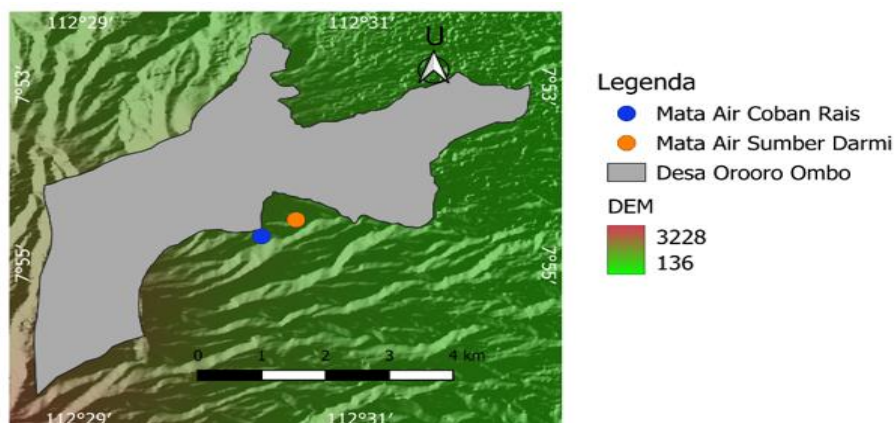
Metode Pengolahan dan Analisis Data

Teknik analisis data dilakukan secara multidimensi untuk mengolah seluruh data lingkungan dan sosial yang telah terkumpul. Data fisik lingkungan yang mencakup potensi kuantitas dan kualitas air dianalisis menggunakan metode deskriptif komparatif dengan cara menyandingkannya secara langsung terhadap regulasi baku mutu air bersih terbaru dalam Peraturan Menteri Kesehatan RI Tahun 2023. Untuk aspek spasial, analisis kemiringan lereng yang memengaruhi laju aliran permukaan dan infiltrasi diolah secara keruangan menggunakan aplikasi QGIS (Hasan et al., 2026), sedangkan variabel distribusi mata air dianalisis berdasarkan indikator titik koordinat geografis, elevasi, dan pola keruangannya (Cambronerio et al., 2025). Sementara itu, analisis data kualitatif untuk dinamika sosial-ekologis diproses menggunakan metode deskriptif kualitatif melalui tahapan reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan (Fang et al., 2026). Untuk menjamin keabsahan hasil, proses triangulasi data dilakukan secara ketat guna mengonfirmasi keselarasan antara realitas tingkat kepatuhan serta aksi nyata konservasi masyarakat di lapangan dengan dokumen hukum formal yang berlaku, seperti Peraturan Wali Kota atau Perwali (Ma et al., 2026), sehingga diperoleh rumusan strategi pelestarian mata air yang adaptif dan berkelanjutan.

Hasil dan Pembahasan

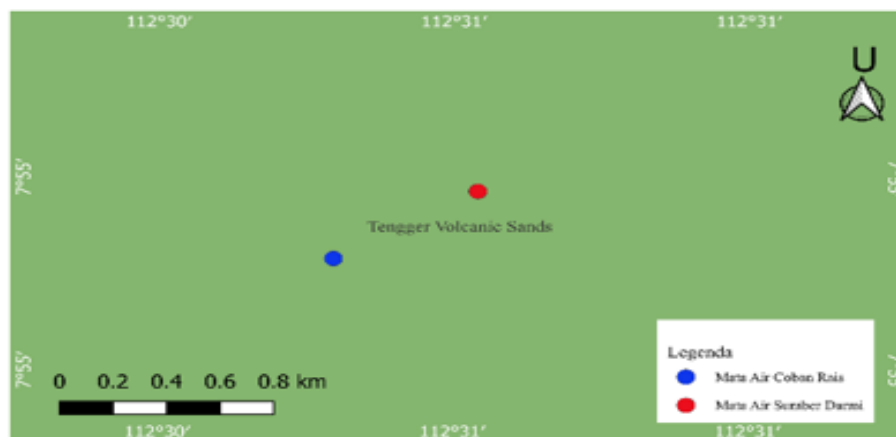
Karakteristik Fisik dan Dinamika Hidrologi Mata Air

Berdasarkan hasil observasi lapangan yang dilakukan pada 21 April 2026, Desa Oro-Oro Ombo memiliki profil morfologi khas pegunungan vulkanik yang sangat memengaruhi ketersediaan air tanahnya. Analisis difokuskan pada dua titik utama, yaitu Sumber Dharmi dan Mata Air Coban Rais, yang secara spasial terletak pada zona ketinggian yang berbeda. Sumber Dharmi berada pada elevasi 1.200 mdpl, sedangkan Coban Rais berada lebih tinggi pada 1.320 mdpl. Distribusi spasial kedua mata air ini dapat dilihat pada peta topografi berikut.



Gambar 2. Peta topografi mata air (hasil pengolahan DEMNAS)

Berdasarkan visualisasi pada Gambar 2 di atas, hasil pengolahan data Digital Elevation Model (DEM) menunjukkan karakteristik topografi wilayah yang sangat memengaruhi arah aliran air di kawasan Desa Oro--oro Ombo. Aliran air dari sumber-sumber potensial, seperti Mata Air Coban Rais dan Mata Air Sumber Darmi, mengalir secara alami mengikuti kemiringan lereng dari daerah dataran tinggi di bagian barat daya menuju daerah dengan elevasi yang lebih rendah di bagian timur laut. Untuk mengoptimalkan potensi hidrologis tersebut, pasokan air bersih dari kedua mata air ini kemudian dikelola secara swadaya dan disalurkan kepada warga Desa Oro-oro Ombo dengan bantuan sistem jaringan distribusi HIPPAM (Himpunan Penduduk Pemakai Air Minum) guna memenuhi kebutuhan domestik dan sanitasi sehari-hari secara terstruktur dan merata. Jika ditinjau dari aspek geologis seperti yang tertera pada peta dipeta geologi berikut, kedua lokasi mata air ini berada dalam kawasan formasi Tengger Volcanic Sands. Secara litologis, kawasan ini tersusun atas batuan beku jenis lava dan breksi.



Gambar 3. Peta Geologi mata air

Formasi batuan vulkanik ini memegang peran yang sangat krusial sebagai lapisan akuifer yang kaya akan rekahan (fractured aquifer), sehingga mampu menyimpan dan mengalirkan air bawah tanah secara efektif. Karakteristik ini didukung oleh kondisi tanah di kedua lokasi yang menunjukkan konsistensi lempung berpasir dengan tekstur kasar. Secara teknis, tekstur tanah yang porous ini sangat mendukung tingginya laju infiltrasi air permukaan (air hujan) untuk masuk ke dalam zona perakaran hingga mengisi kembali (recharge) lapisan akuifer tersebut.

Selain faktor geologis, data meteorologi menunjukkan adanya perbedaan iklim mikro yang menarik di antara kedua lokasi. Di Sumber Dharmi, suhu udara tercatat 23,8°C dengan kelembapan 66%. Sebaliknya, di Coban Rais, suhu sedikit lebih tinggi (24°C) dengan tingkat kelembapan yang turun cukup signifikan menjadi 47%. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa meskipun kedua mata air berada di dalam radius 50 meter dari tutupan hutan alami, intensitas cahaya matahari dan laju evaporasi di Coban Rais lebih tinggi. Perbedaan ini juga dipengaruhi oleh adanya bunker pada mata air sumber darmi yang menutup area air keluar.

Penentuan Kuantitas Air dan Adaptasi Ruang

Penurunan kuantitas air secara signifikan menjadi salah satu temuan kritis dalam penelitian ini. Data teknis yang diperkuat oleh informasi resmi dari Perumdam Among Tirta menunjukkan adanya penurunan debit air di Sumber Dharmi sebesar 10 l/s, yaitu dari 42 l/s menjadi 32 l/s (Lanang, 2025). Menyikapi kondisi tersebut, Vega selaku Kasi SDA dan Hukum Perumdam Among Tirta menegaskan bahwa, “Tekanan pembangunan memengaruhi keluaran air yang terdapat pada sumber air.”

Dampak dari berkurangnya ketersediaan air ini memaksa pemangku kepentingan dan masyarakat setempat melakukan adaptasi tata ruang. Secara sistematis, manajemen aliran air kini menerapkan sistem zonasi, di mana kawasan permukiman bagian atas dikelola secara mandiri oleh HIPPAM desa, sementara pasokan air untuk wilayah bagian bawah dipenuhi langsung melalui layanan Perumdam.

Upaya Konservasi Vegetatif Berbasis Kolaborasi

Sebagai respons langsung terhadap penurunan debit air, masyarakat Desa Oro-Oro Ombo melakukan upaya konservasi vegetatif. Penanaman pohon dilakukan secara selektif dengan memilih spesies endemik atau lokal yang terbukti mampu menahan dan menyerap air dengan baik (Darmayani & Juniarmoko, 2022). Dalam menentukan jenis

tanaman yang akan ditanam, masyarakat mengandalkan kearifan lokal yang diselaraskan dengan fungsi hidrologis lahan. Hal ini ditegaskan oleh Sarimin, relawan Perhutani sekaligus juru kunci wilayah tersebut, yang menyatakan, "Kami fokus pada pohon beringin, bambu, dan ganyam." Secara geografis, titik penanaman difokuskan di area hulu mata air guna memperkuat daerah tangkapan air (catchment area). Integrasi antara bantuan bibit dari Perhutani dan tenaga kerja lokal (relawan) ini menunjukkan bentuk kolaborasi top-down dan bottom-up yang efektif dalam menjaga kelestarian geosfer.

Dimensi Sosiokultural dan Kelembagaan dalam Pelestarian

Pelestarian mata air di Oro-Oro Ombo terbukti tidak hanya mengandalkan pendekatan teknis fisik, tetapi juga berakar pada nilai-nilai spiritual dan kultural. Tradisi "Selamatan Sumber" menjadi pilar sosiokultural utama dalam menjaga ekosistem. Bapak Suliamat, Kasi Pemerintahan sekaligus Tokoh Adat setempat, menekankan pentingnya sakralitas lingkungan ini menyatakan bahwa "Selamatan Sumber itu wajib, biasanya bulan Suro atau Mulud." Dalam perspektif geografi manusia, kearifan lokal ini berfungsi sebagai hukum tidak tertulis yang menciptakan zona lindung kultural. Kesadaran kolektif untuk menjaga kebersihan sumber air dari sampah dan gangguan fisik termanifestasi dalam bentuk ritual tersebut. Lebih jauh, kearifan lokal ini diperkuat secara formal oleh pemerintah melalui inovasi kebijakan seperti program "Satu Akte Satu Pohon", di mana setiap layanan administrasi kependudukan diwajibkan untuk diimbangi dengan penanaman pohon. Perlindungan mata air juga secara legal dijamin melalui payung hukum Perwali Nomor 18 Tahun 2020. Penegakan regulasi didukung kelancaran finansial melalui iuran rutin pengguna HIPAM untuk pemeliharaan infrastruktur fisik (pipa), serta suntikan dana Corporate Social Responsibility (CSR) dari Perumdam Among Tirta yang mendukung kegiatan sosial-budaya warga. Sinergi antara birokrasi, tokoh adat, dan relawan lingkungan ini membentuk sebuah ekosistem pengelolaan yang berkelanjutan, membuktikan bahwa pelestarian fenomena hidrologis menuntut pendekatan multidimensi yang holistik.

Kesimpulan

Pola distribusi mata air di Desa Oro-Oro Ombo sangat dipengaruhi dengan karakteristik morfologi pegunungan vulkanik. Secara spasial, kedua titik amatan terletak pada zona ketinggian yang berbeda, yaitu Sumber Dharmi pada 1.200 mdpl dan Mata Air Coban Rais pada 1.320 mdpl. Secara litologis, kedua lokasi ini berada dalam kawasan formasi Tengger Volcanic Sands yang tersusun atas lava dan breksi yang berfungsi efektif sebagai akuifer kaya rekahan. Didukung oleh tekstur tanah lempung berpasir yang porous, karakteristik fisik ini sangat menunjang tingginya laju infiltrasi air permukaan untuk mengisi kembali lapisan akuifer, meskipun terdapat perbedaan iklim mikro di mana Coban Rais memiliki suhu lebih tinggi (24°C) dan kelembapan lebih rendah (47%) akibat intensitas cahaya matahari serta keberadaan bunker penutup di Sumber Dharmi. Di sisi lain, penelitian ini secara mendalam mengungkap peran komprehensif masyarakat dan pemangku kepentingan sebagai respons adaptif terhadap krisis penurunan debit air di Sumber Dharmi sebesar 10 l/s (dari 42 l/s menjadi 32 l/s) akibat tekanan pembangunan. Respons tersebut termanifestasi secara multidimensional, mulai dari adaptasi tata ruang melalui sistem zonasi aliran air antara HIPAM desa dan Perumdam Among Tirta, hingga upaya konservasi vegetatif berbasis kolaborasi top-down dan bottom-up dalam menanam pohon beringin, bambu, dan ganyam di kawasan hulu. Keberlanjutan pengelolaan ini berhasil diwujudkan melalui sintesis yang kuat antara dimensi sosiokultural kearifan lokal ritus "Selamatan Sumber" sebagai hukum adat tidak tertulis, yang dijembatani secara harmonis dengan kebijakan formal pemerintah seperti program "Satu Akte Satu Pohon", payung hukum Perwali Nomor 18 Tahun 2020, serta dukungan finansial dari iuran rutin warga dan dana.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Prof. Dr. Dewi Liesnoor Setyowati, M.Si. dan Purnomo Adi Saputro, S.Pd., M.Sc. atas bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berharga selama proses penelitian ini. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Pengurus Desa Oro-Oro Ombo dan instansi HIPAM Among Tirta atas izin, fasilitas, serta penyediaan data penelitian. Ucapan terima kasih secara khusus kami tunjukkan kepada Penjaga Sumber Mata Air yang telah mendampingi dan menunjukkan lokasi penelitian selama kegiatan survei lapangan.

Daftar Pustaka

Aida, N. N., Ruja, N., & Kurniawan, B. (2023). Slamatan Andhong De Berran resistensi kebudayaan masyarakat dalam pelestarian Sumber Mata Air Andhong di Desa Oro-Oro Ombo, Kecamatan Batu Kota. *Jurnal Integrasi Dan Harmoni Inovatif Ilmu-Ilmu Sosial (JIHIS)*, 3(12), 1396–1412. <https://doi.org/10.17977/um063v3i122023p1396-1412>

- Bosi, M., Romanillos, G., & García Palomares, J. C. (2026). Pedestrian mobility and innovative data sources: a literature review focused on app-based GPS data. *Travel Behaviour and Society*, 45, 101338. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2026.101338>
- Cambronero, L., Yu, Y., & Rodrigo-Comino, J. (2025). Scaling up analysis of human impacts on hydrological connectivity in Mediterranean viticultural landscapes: From hillslope to a watershed perspective. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 25(4). <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2025.100700>
- Chunwate, B. T., Marchant, R. A., Jew, E. K. K., & Stringer, L. C. (2026). Community perceptions on conservation management and sustainability around the protected area reserves in Nasarawa State, North Central Nigeria. *Environmental Development*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2026.101440>
- Darmayani, S., & Juniarmoko, R. (2022). DASAR DASAR KONSERVASI. Widina Bhakti Persada Bandung.
- Fang, T., Wang, L., Duan, X., Zou, H., Wang, Y., Yan, W., Xu, L., & Pan, J. (2026). Assessing social–ecological fit of sustained watershed environmental governance: A network-based evaluation in Dianchi Lake Watershed, China. *Environmental Impact Assessment Review*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2026.108522>
- Farisi Idcha SA, & Komarudin, N. A. (2024). Analisis Kualitas Air Skala Rumah Tangga Dengan Menggunakan Metode Filtrasi Sederhana. *Environmental Technology Journal*, 1(1), 25–28.
- Frank, J. M., & Massman, W. J. (2023). A study of the role of seven historically significant fast-response hygrometers and sensor calibration on eddy covariance H2O fluxes and surface energy balance closure. *Agricultural and Forest Meteorology*, 334. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109437>
- Hasan, N., Islam, M., & Siam, A. A. (2025). Policy-driven water resource governance mechanisms in the Surma River basin using driver-pressure-state-impact-response framework. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(6). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.119475>
- Hasan, N., Karim, A., Wijaya, L., Manfarizah, & Rusdi, M. (2026). Analisis Pola Aliran Daerah Aliran Sungai Tripa Menggunakan Data Digital Elevation Model. <https://doi.org/10.17969/jimp.v11i2.2077>
- Hitouri, S., Rezouki, I., Ikkirri, M., Aouzal, S., Boujamaoui, M., Abioui, M., & Essaied, A. (2026). Structural study of the Chtouka Plain (Morocco) for hydrogeological implications: Insights from geological, remote sensing and geophysical data analysis. *Journal of African Earth Sciences*, 236. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2026.105997>
- Kiss, J., Bedard-Haughn, A., & Sorenson, P. (2023). Predictive mapping of wetland soil types in the Canadian Prairie Pothole Region using high-resolution digital elevation model terrain derivatives. *Canadian Journal of Soil Science*, 103(1), 21–46. <https://doi.org/10.1139/cjss-2022-0034>
- Lanang, P. (2025, May 10). Ratusan Pelanggan Perumdam Among Tirto Kota Batu Terdampak Penurunan Debit Sumber Mata Air. *Malang Times*.
- Ma, H., Guo, S., Tian, K., & Zhang, Z. (2026). Tracing and optimising the policy collaboration evaluation system for watershed water environment governance under a mixed-methods approach: Evidence from nine provinces along the yellow river in China. *Physics and Chemistry of the Earth*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2025.104222>
- Musasa, T., Shoko, C., Marambanyika, T., & Dube, T. (2025). Leveraging the Google Earth Engine platform to derive vegetation indices for soil erosion susceptibility mapping in discrete rural dominated landscapes. *Physics and Chemistry of the Earth*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2025.104206>
- Setiawan, A., Jailani, S., & Risnita. (2025). Penelitian Metode Campuran (Mixed Method). *Arus Jurnal Sosial dan Humaniora*, 5(2), 1484–1491. <http://jurnal.ardenjaya.com/index.php/ajshhttp://jurnal.ardenjaya.com/index.php/ajsh>
- Tadese, M., Kumar, L., Koech, R., & Kogo, B. K. (2020). Mapping of land-use/land-cover changes and its dynamics in Awash River Basin using remote sensing and GIS. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100352>