

[Research Article]



Kajian Kerusakan Lingkungan Akibat Kegiatan Pemandian Air Panas di Wilayah Desa Tegalsari, Kecamatan Garung, Kabupaten Wonosobo

Fardan Yusuf Ibrahim*

Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

*Correspondance: fardanyusuf25@gmail.com

Informasi Artikel:	Abstrak
<p>Diterima: 31 Oktober 2025</p> <p>Disetujui: 29 November 2025</p> <p>Dipublikasi: 1 Desember 2025</p> <p>Kata kunci: pemandian air panas; pencemaran lingkungan; pengelolaan lingkungan.</p>	<p>Wilayah Desa Tegalsari dikenal memiliki sejumlah sumber air panas yang dimanfaatkan sebagai objek wisata pemandian. Pemanfaatan sumber air panas geothermal tersebut menimbulkan pencemaran lingkungan, baik pada ekosistem terestrial maupun akuatik, sedangkan informasi mengenai dampak dan pengelolaannya masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk 1) menganalisis dampak aktivitas pemandian air panas terhadap kondisi lingkungan terestrial dan akuatik, 2) mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kerusakan yang terjadi, serta 3) merumuskan strategi pengelolaannya. Metode yang digunakan adalah deskriptif kualitatif dengan teknik pengumpulan data melalui observasi dan wawancara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas pemandian air panas memberikan dampak nyata terhadap penurunan kualitas lingkungan. Faktor yang menjadi penyebabnya adalah suhu tinggi, pH rendah, logam berat, dan aktivitas manusia (antropogenik). Strategi pengelolaan lingkungan yang direkomendasikan meliputi perencanaan, pengendalian, pemulihan, dan pemeliharaan.</p>
Article Info:	Abstract
<p>Received: 31 October 2025</p> <p>Accepted: 29 November 2025</p> <p>Published: 1 December 2025</p> <p>Keywords: hot spring; environmental pollution; environmental management.</p>	<p>Tegalsari Village is known for its numerous hot spring sources utilized as bathing tourism attractions. The use of geothermal hot springs has caused environmental pollution affecting both terrestrial and aquatic ecosystems, while information on their impacts and management remains very limited. This study aims to 1) analyze the impact of hot spring bathing activities on terrestrial and aquatic environmental conditions, 2) identify the factors causing environmental degradation, and 3) formulate appropriate management strategies. The research employed a descriptive qualitative method with data collected through observation and interviews. The results indicate that hot spring bathing activities have a significant impact on environmental quality degradation. The main contributing factors are high temperature, low pH, heavy metal content, and anthropogenic activities. The recommended environmental management strategies include planning, control, restoration, and maintenance efforts.</p>

PENDAHULUAN

Desa Tegalsari merupakan desa terluas di Kecamatan Garung, Kabupaten Wonosobo dengan luas wilayah sebesar 4,48 hektar dan ketinggian sekitar 943 – 1.184 mdpl (PWK USM, 2023). Wilayah desa ini termasuk ke dalam lingkungan vulkanik aktif dan aktivitas magma di bawah tanah, sehingga desa ini menjadi salah satu destinasi wisata alam populer di Wonosobo yang dikenal karena memiliki banyak titik *geothermal water* yang dapat dimanfaatkan sebagai tempat pemandian air panas. Hingga tahun 2025, objek wisata pemandian air panas di wilayah Desa Tegalsari memiliki 4 pemandian air panas yang aktif beroperasi, dan ada 1 pemandian air panas yang sedang dalam proses pembangunan.

Pada umumnya, mata air panas berasal dari adanya kontak antara magma gunung berapi dengan air tanah yang menyebabkan peningkatan suhu. Air tanah yang ada di kerak bumi kemudian mengalami pemanasan secara *geothermal*. Apabila air panas tersebut keluar melalui celah atau rekahan pada permukaan bumi, maka akan muncul mata air panas atau *hot spring* yang menjadi salah satu manifestasi dari energi panas bumi (Suoth dkk., 2024).

Beberapa sumber mata air panas yang keluar memiliki suhu di atas 37°C, namun ada juga yang mengeluarkan suhu hingga di atas titik didih atau sekitar 148°C (Suoth dkk., 2024). Menurut Lin dkk. (2005), suhu dari mata air panas yang berasal dari bawah tanah dikatakan sebagai *hot spring* apabila berada di atas 30°C. Apabila suhu air di bawah 30°C tetapi mengandung komposisi kimia tertentu, maka air tersebut juga dapat dikategorikan sebagai *hot spring water*. Pada pemandian air panas di Desa Tegalsari, suhu air panas hampir mencapai titik didih yaitu sekitar 90°C (Khoiriyah dkk., 2023). Masyarakat memanfaatkannya dengan menurunkan suhu air yang terlalu tinggi dengan menggunakan aliran air sungai di sekitarnya, sehingga sesuai dan nyaman untuk berendam atau mandi.

Pemanfaatan sumber mata air panas di wilayah Desa Tegalsari, Kecamatan Garung, Kabupaten Wonosobo sebagai objek wisata memberikan berbagai manfaat ekonomi dan kesehatan bagi masyarakat. Keberadaan objek wisata ini mendorong kegiatan ekonomi lokal melalui pengelolaan wisata oleh pemerintah desa serta pengembangan UMKM, sementara manfaat Kesehatan yang dapat dirasakan

melalui pemanfaatan air panas sebagai media pengobatan dan relaksasi.

Di balik berbagai potensi kebermanfaatannya, aktivitas wisata alam berisiko menimbulkan kerusakan lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu, pengelolaan lingkungan dan pengelolaan objek wisata menjadi faktor penting yang menentukan kelestarian fungsi ekosistem di sekitarnya. Pengelolaan yang kurang tepat dapat menyebabkan pencemaran berkelanjutan baik pada ekosistem terestrial maupun akuatik. Dengan demikian, keseimbangan antara pemanfaatan ekonomi dan pelestarian lingkungan harus menjadi fokus utama dalam pengembangan wisata pemandian air panas di wilayah ini.

Penelitian terdahulu terkait dampak pencemaran lingkungan dari pemandian air panas di wilayah Indonesia dapat ditelusuri kembali pada beberapa penelitian ini. Maghfiroh dkk. (2024) menyebutkan bahwa air panas pada pemandian air panas di Kalianget Wonosobo mengandung mineral berupa belerang. Keberadaan belerang yang tinggi pada air panas dapat memunculkan potensi dampak pencemaran terhadap sifat termal air. Lebih jelas disebutkan bahwa senyawa pada belerang seperti hidrogen sulfida (H_2S) dan sulfur dioksida (SO_2) yang larut dapat mengubah sifat fisik terutama pH. pH yang turun akibat pencemaran belerang memiliki dampak ekologis yang signifikan. Towijaya dkk. (2019) menyebutkan bahwa belerang pada air panas yang terbuang begitu saja di sungai akan menyebabkan pencemaran dan cukup berbahaya karena air tersebut merupakan sumber kehidupan di pedesaan. Kebanyakan wisata pemandian air panas masih membuang air panas di sungai tanpa adanya pengelolaan. Hal ini dapat berpotensi merusak ekosistem air. Selain itu kandungan silika, maupun logam berat lainnya dapat berbahaya terhadap organisme tanah yang kemudian berdampak pada sektor pertanian. Namun, mayoritas penelitian tersebut hanya menyoroti karakteristik kimia air panas, belum mengkaji secara integratif bagaimana limbah pemandian air panas memengaruhi kualitas air sungai dan kondisi tanah di sekitarnya.

Pengembangan objek wisata pemandian air panas di wilayah Desa Tegalsari, Kecamatan Garung, Kabupaten Wonosobo terus dilakukan sejalan dengan meningkatnya jumlah wisatawan.

Pada tahun 2025, telah dimulai pengeboran tanah untuk mendapatkan sumber air panas dan akan dimanfaatkan sebagai objek wisata baru. Aktivitas ini akan terus meningkat karena wilayah ini termasuk jalur gunung berapi yang memiliki banyak sumber air panas, namun potensi ini masih belum dimanfaatkan secara maksimal dan tepat dari segi pengelolaan lingkungan. Apabila pengelolaan lingkungan tidak dilakukan secara baik dan berkelanjutan, peningkatan aktivitas tersebut berpotensi menimbulkan pencemaran air, kerusakan ekosistem, penurunan kualitas tanah, serta mengganggu keseimbangan lingkungan di sekitar area pemanfaatan sumber air panas.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menganalisis aktivitas pemandian air panas di wilayah ini dari segi ekonomi, manajemen wisata, dan sosial budaya. Meskipun demikian, kajian yang secara spesifik membahas dampak pencemaran lingkungan serta strategi pengelolaannya masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak aktivitas pemandian air panas terhadap kondisi lingkungan terestrial dan akuatik, mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kerusakan yang terjadi, serta merumuskan strategi pengelolaan yang berkelanjutan untuk meminimalisir dampak negatif terhadap ekosistem di sekitarnya. Melalui penelitian ini, diharapkan masyarakat dan pemerintah memperoleh informasi yang komprehensif mengenai kondisi lingkungan serta langkah pengelolaan yang dapat dilakukan untuk menjaga keberlanjutan ekosistem di wilayah pemandian air panas Desa Tegalsari.

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah Desa Tegalsari, Kecamatan Garung, Kabupaten Wonosobo, yang secara geografis terletak pada koordinat $7^{\circ}17'59''$ LS dan $109^{\circ}54'18''$ BT. Secara administratif, Desa Tegalsari terdiri atas enam dusun, yaitu Tegalsari, Siwadas, Gintung, Curug, Kandangan, dan Pringapus. Tidak semua dusun memiliki sumber air panas, objek wisata pemandian air panas hanya terdapat di Dusun Tegalsari (2 titik) dan Dusun Siwadas (1 titik).

Beberapa titik pengamatan penelitian berada di area perbatasan dengan Desa Sitiharjo dan Desa Kebrengan. Meskipun secara administratif sebagian kecil titik tersebut masuk dalam wilayah desa lain, namun secara ekologis

dan hidrologis masih merupakan satu kesatuan sistem pemandian air panas yang berhubungan langsung dengan wilayah Desa Tegalsari. Seperti pada pemandian air panas Desa Kebrengan, secara peta digital titik tersebut termasuk dalam wilayah Desa Tegalsari, namun berdasarkan data administratif lapangan, lokasi tersebut masuk dalam wilayah Desa Kebrengan. Oleh karena itu, seluruh titik pengamatan tersebut tetap diikutsertakan dalam penelitian ini karena memiliki keterkaitan langsung dalam satu sistem ekosistem sumber air panas. Peta sebaran lokasi penelitian secara rinci dapat dilihat pada Gambar 1.

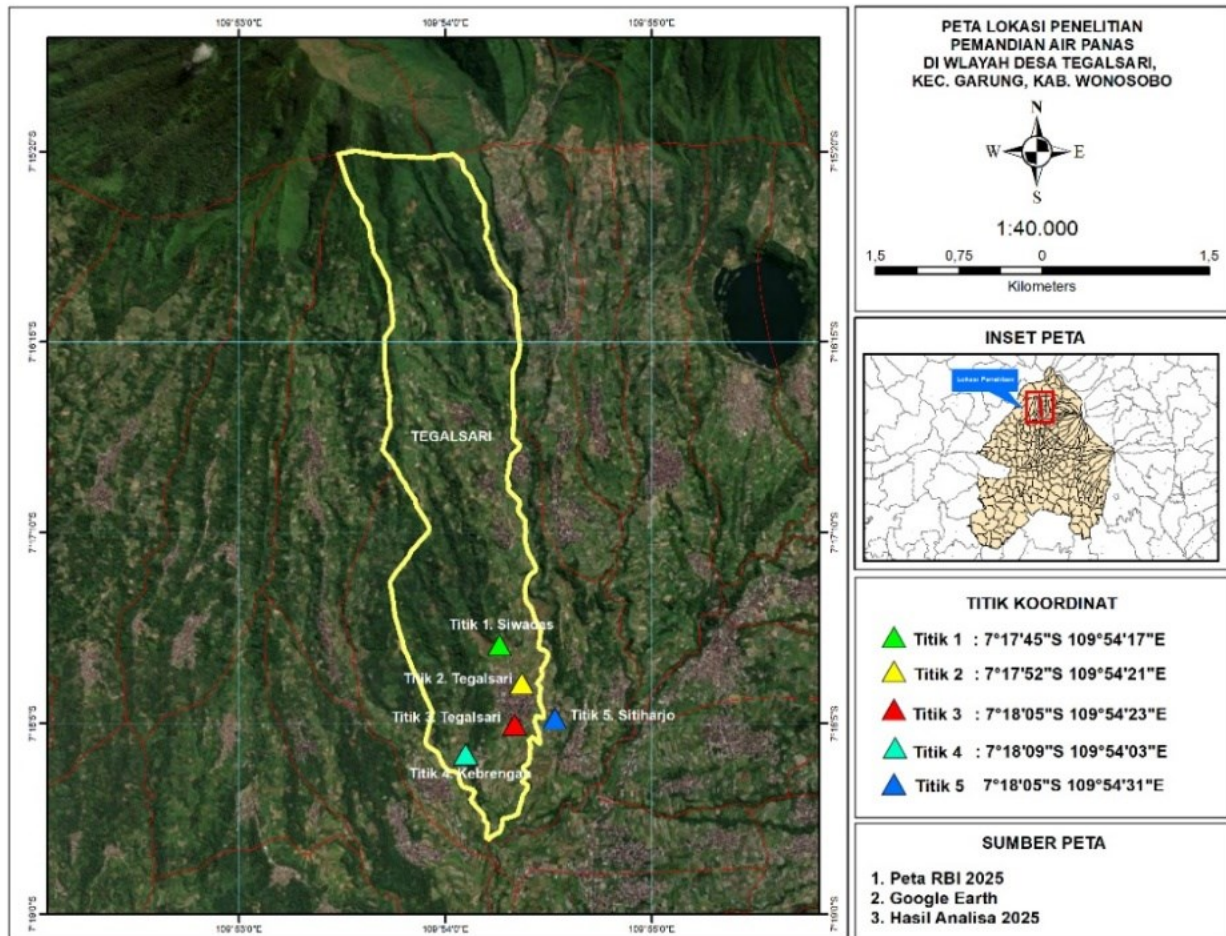
Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data kualitatif yang diperoleh melalui observasi eksploratif dan wawancara. Data kualitatif dipilih karena mampu menggambarkan secara mendalam kondisi lingkungan, karakteristik pemandian air panas, hingga dampak pencemaran yang sudah ditimbulkan di lingkungan.

Sumber data dalam penelitian ini terdiri atas dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan dan wawancara. Observasi dilakukan untuk mengetahui kondisi fisik lokasi penelitian. Wawancara dilakukan dengan pengelola, masyarakat, dan pengunjung dengan menggunakan pertanyaan terbuka. Sedangkan data sekunder diperoleh melalui kajian literatur dan referensi penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik pencemaran lingkungan akibat aktivitas pemandian air panas serta pengelolaan lingkungan. Data ini digunakan untuk memperkuat analisis dan memberikan landasan teori bagi hasil penelitian.

Teknik Pengumpulan, Pengolahan, dan Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif eksploratif dengan pendekatan kualitatif untuk menganalisis dampak pencemaran dan strategi pengelolaan lingkungan akibat aktivitas pemandian air panas di wilayah Desa Tegalsari. Alur penelitian ini diawali dengan melakukan observasi langsung di 5 titik lokasi penelitian untuk mengetahui titik koordinat menggunakan bantuan Global Positioning System (GPS). Selanjutnya dilakukan pengamatan untuk memahami kondisi lingkungan, karakteristik masing-masing pemandian air panas, dan dampak yang



Gambar 1. Lokasi Penelitian

ditimbulkan. Proses ini melibatkan pencatatan kondisi fisik pemandian air panas dan lingkungan sekitar baik terestrial maupun akuatik, serta identifikasi benetuk pencemaran yang berdampak bagi lingkungan. Selanjutnya, peneliti melakukan wawancara yang berfokus pada dampak pencemaran seperti perubahan kualitas air sungai di sekitar pemandian air panas, kondisi tanah dan tumbuhan di sekitar aliran buangan air panas, hingga dampaknya terhadap sektor pertanian. Wawancara ini berguna untuk mendapatkan data mengenai pandangan dan pengalaman informan (Jelahut, 2022).

Data yang diperoleh dari hasil observasi dan wawancara dianalisis dengan pendekatan analisis tematik (Rozali, 2022). Dalam proses ini, peneliti mengidentifikasi tema-tema utama yang muncul dari hasil pengumpulan data, terutama yang berkaitan dengan dampak pencemaran lingkungan yang timbul akibat aktivitas pemandian air panas. Analisis tematik ini digunakan untuk memahami lebih dalam keterkaitan antara aktivitas pemandian air panas

dan kondisi lingkungan yang terlihat dan dirasakan, sehingga peneliti dapat merumuskan strategi pengelolaan lingkungan. Untuk menjaga validitas dan keandalan hasil penelitian, peneliti menerapkan teknik triangulasi, yaitu dengan membandingkan temuan dari observasi dan wawancara. Pendekatan ini dilakukan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh bersifat konsisten, akurat, serta meminimalkan kemungkinan terjadinya bias dalam proses pengumpulan dan interpretasi data.

Penelitian ini juga mengacu pada kajian literatur yang relevan untuk memberikan konteks pendukung terhadap hasil penelitian (Subagiya, 2023). Kajian pustaka dilakukan untuk memperkuat temuan di lapangan dengan teori serta hasil penelitian terdahulu yang membahas mengenai pencemaran lingkungan akibat aktivitas pemandian air panas. Sumber-sumber referensi tersebut digunakan untuk memperkaya proses analisis dan interpretasi data. Melalui penerapan metode ini, penelitian diharapkan mampu memberikan pemahaman menyeluruh tentang analisis dampak dan

strategi pengelolaan pemandian air panas di wilayah Desa Tegalsari. Selain itu, hasil penelitian diharapkan menjadi dasar bagi rekomendasi pengelolaan pemandian air panas yang berkelanjutan, sehingga mampu memaksimalkan potensi wilayah dan meminimalisir risiko pencemaran lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Fisik dan Dampak Pencemaran Lingkungan

Berdasarkan hasil wawancara dan observasi pada 5 titik penelitian diketahui bahwa setiap titik memiliki karakteristik dan tingkat dampak pencemaran yang berbeda (Gambar 2 dan Gambar 3). Secara umum, titik 2 (Dusun Tegalsari) merupakan pemandian air panas terbesar dan menunjukkan aktivitas wisata tertinggi diikuti oleh titik 1 (Dusun Siwadas). Namun, titik yang paling memperlihatkan potensi pencemaran tertinggi adalah titik 3 (Dusun Tegalsari) yang merupakan lokasi pengeboran sumber air panas baru, disusul oleh titik 2, titik 1, dan titik 4 (Desa Kebrengan). Sedangkan titik 5 (Desa Sitiharjo) menunjukkan aktivitas yang lebih rendah dengan dampak lingkungan yang relatif ringan. Perbedaan tingkat pencemaran ini disebabkan oleh kondisi pengelolaan yang berbeda, di mana titik 3 masih dalam tahap pembangunan sehingga air panas dari rekahan mengalir langsung ke sungai dan lahan sekitar tanpa proses penurunan suhu melalui pencampuran dengan air sungai pada kolam pemandian terlebih dahulu seperti yang dilakukan pada titik-titik lain. Sedangkan pada titik 2, meskipun menjadi titik terbesar namun tidak menimbulkan kerusakan paling tinggi. Hal tersebut dikarenakan air panas yang terbangun ke lingkungan sekitar telah terjadi penurunan suhu dengan campuran air sungai pada kolam yang besar.

Pada titik 1 (Dusun Siwadas) terdapat dua kolam pemandian terpisah untuk pria dan wanita dengan luas masing-masing 20 m² dan 11 m² yang berlokasi di area persawahan dan tepi sungai. Air panas berasal dari satu sumber rekahan dengan suhu awal tinggi, namun setelah dicampur dengan air sungai suhu kolam berada pada kisaran 30–40°C. Dampak pencemaran terlihat pada ekosistem terestrial dan akuatik di sekitar lokasi. Pada area lahan kosong maupun lahan pertanian, terutama sawah, ditemukan kematian vegetasi serta hambatan pertumbuhan

tanaman padi akibat paparan air panas dari aliran pembuangan maupun dari rekahan kecil di sekitar pemandian (Gambar 3). Area yang terpapar menunjukkan zona tanpa vegetasi, mengindikasikan bahwa suhu air yang tinggi dapat merusak jaringan tanaman dan menghambat proses pertumbuhan (Andriani & Karmila, 2019). Pada ekosistem akuatik, air sungai yang menjadi saluran pembuangan menunjukkan kenaikan suhu, dengan kondisi air yang hangat dan tidak ditemukan organisme perairan di sekitar titik buangan. Hal ini menunjukkan terjadinya penurunan kualitas air yang berdampak pada hilangnya biota akuatik. Dengan demikian, titik ini mengalami kerusakan pada kedua ekosistem, baik terestrial maupun akuatik.

Pada titik 2 (Dusun Tegalsari) terdapat kolam pemandian untuk pria dan wanita dengan ukuran masing-masing sekitar 60 m² dan 43 m², serta dua ruang pemandian VIP berukuran 12 m². Pada lokasi ini ditemukan tiga sumber rekahan air panas dengan suhu kolam berkisar antara 35–45°C. Meskipun menjadi pemandian terbesar dengan jumlah pengunjung tertinggi, seluruh limbah, baik sabun maupun air panas, langsung dialirkan ke sungai tanpa proses pengolahan. Kondisi vegetasi dan lahan di sekitar pemandian tidak menunjukkan dampak signifikan karena posisi pemandian berada di tepi sungai dan kawasan permukiman, sehingga sebagian besar buangan mengalir langsung ke badan air. Dampak yang lebih jelas terlihat adalah penurunan kualitas air sungai, yang ditandai oleh munculnya busa akibat aktivitas mandi pengunjung serta adanya uap panas pada permukaan air yang menunjukkan peningkatan suhu sungai di sekitar area pembuangan. Dengan demikian, kerusakan lingkungan pada titik ini terutama terjadi pada ekosistem akuatik.

Pada titik 3 (Dusun Tegalsari), area pemandian masih dalam tahap pembangunan, namun sumber air panas telah diperoleh melalui proses pengeboran tanah. Berdasarkan hasil wawancara, kolam yang akan dibangun direncanakan berukuran sekitar 42 m². Hingga tahap ini, belum terdapat rencana pengelolaan limbah pemandian air panas yang memadai. Kondisi tersebut terlihat dari kerusakan lingkungan yang muncul pada ekosistem terestrial maupun akuatik. Pada lahan di sekitar lokasi, terjadi kematian vegetasi (Gambar 3) akibat aliran air panas bersuhu tinggi yang langsung mengalir ke area terbuka tanpa proses



Gambar 2. Kondisi Fisik Pemandian Air Panas



Gambar 3. Pencemaran Akibat Pemandian Air Panas

penurunan suhu sebelumnya. Air panas dari sumber langsung dialirkan menuju sungai kecil di dekat lokasi karena fasilitas kolam dan sistem pengelolaan belum selesai dibangun. Sungai kecil tersebut menunjukkan kenaikan suhu yang signifikan, yaitu mencapai $>45^{\circ}\text{C}$. Selain peningkatan suhu, penurunan pH pada tanah di sekitar aliran air panas juga terdeteksi, yang ditunjukkan oleh kerusakan dan pembusukan akar tanaman serta munculnya warna kemerahan pada tanah (Dinas Pertanian, 2021).

Pada titik 4 (Desa Kebrengan) terdapat kolam pemandian berukuran 12 m^2 dengan satu sumber air panas bersuhu $30\text{--}40^{\circ}\text{C}$. Aktivitas mandi menggunakan sabun dilakukan di kolam, dan air buangnya dialirkan ke sungai kecil

serta lahan pertanian. Buangan air panas menyebabkan kematian vegetasi dan kerusakan tanah pada area pertanian karena dialirkan melalui paralon ke lahan terbuka. Genangan air panas menimbulkan uap, warna keruh, busa sabun, serta penurunan pH. Pada ekosistem akuatik, sungai kecil yang menerima aliran air panas mengalami kenaikan suhu, ditandai munculnya uap. Kondisi ini menunjukkan adanya pencemaran yang berdampak pada lingkungan terestrial dan akuatik.

Pada titik 5 (Desa Sitiharjo) terdapat dua kolam berdampingan seluas total 35 m^2 yang masing-masing berisi air panas dan air dingin, dengan sumber air berasal dari rekahan kecil di bawah kolam. Suhu kolam air panas relatif

rendah yaitu 25–30°C, sehingga tekanan termal terhadap lingkungan tergolong minimal. Namun, kolam jarang dikuras sehingga terjadi penumpukan lumut, yang dapat menjadi indikator kualitas air yang menurun. Air buangan dari kolam mengalir ke anak sungai

kecil dan menimbulkan peningkatan kekeruhan. Meski kekeruhan meningkat, tidak ditemukan perubahan signifikan pada suhu, pH, maupun organisme akuatik, sehingga pencemaran yang terjadi bersifat ringan dan terbatas pada perubahan fisik air.

Tabel 1. Indikator Jenis dan Bentuk Pencemaran

Titik	Ekosistem Terdampak	Jenis Pencemaran	Bentuk Pencemaran
1	Terestrial dan akuatik	Peningkatan suhu, penurunan pH, kerusakan vegetasi	Kematian vegetasi dan lahan tidak ditumbuhi tanaman, pertumbuhan padi terganggu, suhu air sungai meningkat, tidak ditemukan organisme akuatik.
2	Akuatik	Limbah sabun, peningkatan suhu, penurunan pH	Busa sabun pada air sungai, peningkatan suhu sungai ditandai munculnya uap, penurunan kualitas air, tidak ada kerusakan signifikan pada vegetasi sekitar.
3	Terestrial dan akuatik	Suhu ekstrem, penurunan pH, kerusakan vegetasi	Kematian vegetasi di sekitar lokasi, tanah berwarna kemerahan akibat pH turun, suhu sungai kecil >45°C, kerusakan nyata pada ekosistem sungai.
4	Terestrial dan akuatik	Limbah sabun, peningkatan suhu, penurunan pH	Kerusakan vegetasi dan lahan pertanian, air buangan keruh, berbusa, dan menguap, pH tanah turun, sungai kecil mengalami kenaikan suhu.
5	Akuatik (ringan)	Kekeruhan air	Kekeruhan pada anak sungai, penumpukan lumut pada kolam, tidak terdapat indikasi pencemaran berat karena aktivitas pemanfaatan rendah.

Identifikasi Faktor Pencemaran dan Dampak Bagi Lingkungan

Aktivitas pemandian air panas di wilayah Desa Tegalsari dan sekitarnya menunjukkan adanya perubahan nyata pada kondisi lingkungan berupa peningkatan suhu air sungai menjadi >30°C, penurunan pH tanah di bawah normal (<7), hingga kerusakan vegetasi dan penurunan kualitas air sungai. Sumber air panas yang terbentuk baik secara alamiah maupun hasil pengeboran mengakibatkan dampak negatif bagi lingkungan (Tabel 1). Dampak pencemaran tersebut berasal dari beberapa faktor seperti suhu, tingkat keasaman (pH), kandungan logam berat, dan aktivitas manusia (antropogenik). Faktor-faktor tersebut memberikan dampak yang berbeda terhadap ekosistem terestrial maupun akuatik di sekitar sumber air panas.

Salah satu faktor utama yang memengaruhi kondisi lingkungan di sekitar sumber air panas adalah suhu yang tinggi. Sebagian besar sumber air panas di wilayah Desa Tegalsari sebelum bercampur dengan air sungai memiliki suhu yang mendekati titik didih yaitu sekitar 90°C (Khoiriyah dkk., 2023). Aliran air panas yang mengalir ke aliran sungai dan lahan pertanian atau lahan terbuka menyebabkan peningkatan suhu air sungai dan tanah secara drastis. Padahal, suhu normal air

sungai dan tanah umumnya berada di bawah 30°C (Ningsih dkk., 2021). Peningkatan suhu ini dapat berpengaruh secara signifikan terhadap kerusakan pada ekosistem terestrial maupun akuatik (Gambar 3).

Peningkatan suhu tanah yang ekstrem dapat merusak kualitas tanah dan vegetasi di sekitarnya, seperti kondisi yang dapat dilihat pada Titik 1, Titik 3, dan Titik 4 (Gambar 3). Ketiga titik tersebut menunjukkan adanya cekaman pada tanah dan vegetasi ditandai dengan kematian tumbuhan, tanah yang berubah warna, dan tidak adanya tumbuhan maupun organisme yang hidup di dalam genangan air panas. Gejala tersebut merupakan manifestasi dari tingginya suhu tanah yang dapat mempercepat laju dekomposisi bahan organik sehingga terjadi kehilangan dan transformasi nutrisi tanah. Hal ini dapat secara langsung berpengaruh terhadap kesuburan tanah dan kemampuan menahan air yang berperan penting pada pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan (Davidson & Janssens, 2006). Selain itu, suhu tinggi pada tanah dapat menyebabkan stres pada tumbuhan terutama menghambat laju fotosintesis. Proses fotosintesis sangat dipengaruhi oleh jumlah daun dan kondisi lingkungan. Tumbuhan yang mendapat cekaman suhu tinggi akan menyebabkan jumlah daun yang terbentuk lebih sedikit dan lebih kecil.

Kondisi tersebut merupakan bentuk respons fisiologis tumbuhan untuk menekan laju transpirasi dan fotorespirasi. Suhu tanah yang terlalu tinggi dapat menghambat kerja stomata, sehingga menurunkan laju fotosintesis dan pada akhirnya menyebabkan kerusakan sel. Dampak ini dapat berujung pada kematian tumbuhan, terutama pada spesies yang tidak resisten terhadap suhu ekstrem (Ningsih dkk., 2021).

Dampak suhu tinggi juga dirasakan pada lahan pertanian di sekitar sumber air panas. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara, keberadaan rekahan air panas di area persawahan secara langsung memengaruhi kualitas produksi tanaman, terutama padi. Meskipun peningkatan suhu air sawah akibat aliran air panas tidak signifikan dan cenderung hangat, namun hal tersebut tetap menyebabkan tanaman tidak tumbuh optimal karena cekaman suhu yang tidak ideal. Pada Titik 1 dan 4, rekahan kecil di dekat area pemandian membuat suhu air sawah cenderung hangat sepanjang waktu, sehingga pertumbuhan padi menjadi terhambat dan hasil panen menurun.

Selain memengaruhi ekosistem terestrial, suhu tinggi dari buangan air panas juga berdampak signifikan terhadap ekosistem akuatik. Suhu air yang melebihi kisaran optimal bagi biota perairan (25–30°C) dapat menurunkan kualitas air serta mengganggu kehidupan ikan dan organisme akuatik lainnya (Sutisna & Sutarmanto, 1995; Cheng dkk., 2012). Berdasarkan baku mutu air kelas II dalam PP No. 22 Tahun 2021, perubahan suhu air permukaan yang diperbolehkan hanya sekitar deviasi 3 ($\pm 3^\circ\text{C}$ dari kondisi normal). Dengan asumsi suhu normal air sungai adalah 25°C, maka ambang batas suhu yang masih dapat diterima berkisar pada 22–28°C (Hanisa dkk., 2017). Namun, suhu buangan air panas pada sebagian besar titik penelitian berada pada kisaran 30–45°C, sehingga jelas telah melampaui batas toleransi tersebut dan berpotensi kuat menimbulkan tekanan termal pada ekosistem akuatik. Satu-satunya pengecualian adalah titik 5, yang menunjukkan suhu buangan masih berada dalam kisaran yang dapat diterima.

Hasil observasi menunjukkan bahwa pada aliran sungai kecil yang menerima buangan air panas di Titik 2 tidak lagi ditemukan ikan kecil seperti *Poecilia reticulata*. Hilangnya spesies ini menandakan terjadinya tekanan ekologis pada perairan karena ikan merupakan salah satu

indikator penting kesehatan ekosistem. Namun, pada aliran sungai yang lebih besar seperti di Titik 1, dampak tersebut tidak terlihat signifikan karena suhu air panas menurun setelah bercampur dengan volume air sungai yang lebih besar. Begitu juga dapat dilihat pada Titik 5 yang memiliki suhu pemandian lebih rendah tidak menimbulkan kerusakan ekosistem akuatik yang signifikan dari buangan air pemandian ke sungai di sekitarnya.

Faktor lain yang menyebabkan dampak pencemaran lingkungan adalah tingkat keasaman (pH). pH pada air sungai dan tanah akan berdampak langsung terhadap kelangsungan hidup organisme serta proses biologis di ekosistem terestrial maupun akuatik. Buangan air panas dari pemandian yang mengalir ke lahan-lahan di sekitarnya menyebabkan tanah mengalami penurunan tingkat pH menjadi lebih masam. Hal ini disebabkan oleh kadar air yang terlalu tinggi dari air panas yang berpengaruh pada kenaikan kadar C-Organik tanah sehingga tanah semakin asam (Yanti & Kusuma, 2021). Selain itu, kandungan anion dari air panas secara alamiah telah memiliki pH yang cenderung rendah (Masriat dkk., 2021), sehingga memicu penurunan tingkat keasaman pada tanah maupun air sungai di sekitarnya. Nilai pH normal pada tanah dan air sungai berturut-turut adalah 7 dan 7 – 7,5 (Effendi, 2003; Juliansyah dkk., 2022). pH yang terlalu rendah pada tanah dapat menyebabkan pertumbuhan penyakit yang disebabkan oleh jamur seperti busuk akar (Mubarak dkk., 2012). Hal ini sesuai dengan kondisi yang ditemukan pada Titik 1, 3, dan 4 yang menunjukkan kematian vegetasi rumput pada lahan melalui pembusukan akar. Selain itu, di Titik 1, 2, maupun 3 tidak ditemukan ikan atau organisme akuatik seperti *Poecilia reticulata*. Hal ini konsisten dengan temuan Kulla dkk. (2020) yang menyebutkan bahwa pH yang rendah ($\text{pH} < 5$) sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan seperti menimbulkan kematian dan menghambat reproduksi.

Sumber air panas membawa kandungan mineral alami yang dapat memengaruhi kualitas lingkungan, terutama logam berat. Logam berat merupakan bahan beracun yang dapat menyebabkan kerusakan pada ekosistem. Sumber pencemaran logam sebagian besar berasal dari pertambangan, aktivitas *geothermal*, peleburan logam, dan limbah domestik hingga

pupuk pertanian (Lestari & Trihadiningrum, 2019; Yuni, 2020). Unsur-unsur logam berat yang berasal dari aktivitas *geothermal* di bawah permukaan bumi akan ikut terbawa ke permukaan bersama air panas. Namun, akumulasi logam berat dalam jumlah tinggi dapat menyebabkan pencemaran bagi ekosistem terestrial maupun akuatik karena limbah dari kegiatan *geothermal* umumnya mengandung unsur logam yang beberapa di antaranya adalah logam berat seperti logam Cu, Pb, Zn, Mn, Fe, Cd, As, Sb, Au, Ag, Hg, Ni, dan Se (Permana & Hamdani, 2015; Mutmainah dkk., 2025).

Logam berat yang ada di ekosistem terestrial tidak hanya meracuni tumbuhan dan organisme, namun juga berdampak pada pencemaran lingkungan (Alloway, 1995). Keberadaan logam di tanah yang dibawa oleh aliran air panas dari pemandian akan beracun bagi tanah karena dapat menghilangkan kesuburan dan unsur kimia yang tidak dibutuhkan tumbuhan sehingga vegetasi maupun tanaman pertanian akan mati (Dent, 1993; Adji dkk., 2008).

Logam berat seperti timbal (Pb) dapat menghambat laju pertumbuhan ikan nila (Rahayu dkk, 2017). Dampaknya berupa edema, nekrosis, hiperplasia lamella sekunder, dan fusi lamela pada insang hingga kematian pada *Prochilodus lineatus* diakibatkan oleh paparan timbal di air sungai (Yolanda dkk., 2017). Tembaga (Cu) di air dengan konsentrasi melebihi ambang batas (0,008 mg/l) akan merusak insang, hati, ginjal, dan sistem saraf ikan (Chahaya, 2003). Merkuri (Hg) tidak dapat terdegradasi oleh bakteri sehingga akan menumpuk di perairan (Zulfahmi dkk., 2014). Penumpukan ini kemudian akan terkumpul pada ikan yang kemudian dikonsumsi manusia menyebabkan ataksia, penurunan kemampuan bicara, hingga kerusakan otak janin (Yorifuji dkk., 2018). Berdasarkan hasil observasi juga diketahui bahwa sungai yang tercemar air panas merupakan sungai yang digunakan untuk mengalir kolam ikan masyarakat. Sementara ikan tersebut juga dikonsumsi secara pribadi oleh masyarakat. Itu berarti bahwa kandungan logam dari air yang tercemar akan masuk ke ikan dan jika dikonsumsi oleh masyarakat akan berdampak buruk bagi kesehatan.

Hasil observasi pada lima titik lokasi penelitian menunjukkan bahwa selain dari faktor sumber daya alam, dampak pencemaran lingkungan juga timbul akibat aktivitas manusia

(antropogenik). Pada Titik 1, 2, 4, dan 5 ditemukan sampah plastik di area pemandian, pertumbuhan lumut di kolam, serta keterbatasan fasilitas sanitasi dan mandi. Hanya Titik 1 dan Titik 2 yang memiliki fasilitas relatif lengkap, namun tingkat kesadaran masyarakat dalam menjaga kebersihan lingkungan masih rendah, meskipun telah tersedia papan informasi terkait imbauan kebersihan. Pada titik lainnya, tidak adanya fasilitas mandi dan toilet menyebabkan aktivitas tersebut dilakukan langsung di kolam, sehingga menimbulkan kekeruhan air, munculnya busa, serta pertumbuhan lumut yang berlebih. Di Titik 5, tidak tersedianya tempat sampah menyebabkan sampah plastik tersebar di sekitar area pemandian dan aliran sungai. Hal ini mengindikasikan bahwa pencemaran lingkungan di kawasan pemandian air panas juga dipengaruhi oleh faktor antropogenik atau aktivitas manusia (Derso dkk., 2015; Romero Rojas dkk., 2021).

Secara keseluruhan, suhu tinggi, tingkat keasaman (pH), kandungan logam berat, dan faktor antropogenik memberikan cekaman ekologis yang nyata terhadap lingkungan di sekitar pemandian air panas, baik ekosistem terestrial maupun akuatik. Temuan ini menunjukkan bahwa upaya identifikasi dan pengelolaan begitu penting dilakukan sebagai upaya menjaga kelestarian alam. Bentuk-bentuk strategi pengelolaan perlu dilakukan dan dikembangkan untuk mengatasi masalah pencemaran tersebut.

Strategi Pengelolaan Lingkungan Pemandian Air Panas

Pengembangan wisata pemandian air panas semestinya berjalan sesuai dengan koridor pembangunan berkelanjutan. Sumber air panas merupakan sumber daya yang berharga sehingga rentan terhadap kerusakan. Oleh karena itu penting untuk dilakukan pengelolaan dan pengendalian sesuai dengan kapasitas alami sumbernya (Yu, 2015).

Di Indonesia, belum banyak informasi atau penelitian yang membahas tentang pengelolaan limbah dari aktivitas pemandian air panas. Menteri Pariwisata telah membuat Permen Nomor 27 tahun 2015 yang mengatur tentang Standar Usaha Pengelolaan Pemandian Air Panas Alami. Namun informasi secara spesifik mengenai pengelolaan buangan atau limbah air panas pada pemandian air panas masih sangat terbatas.

Sebagian besar area pemandian air panas di Indonesia dimanfaatkan untuk kegiatan wisata tanpa dilengkapi sistem pengolahan air limbah yang memadai. Namun, Lin dkk. (2005) menjelaskan bahwa air limbah dari fasilitas pemandian air panas dapat mengandung bahan kimia berbahaya seperti logam berat, fluorida, dan senyawa belerang. Zat-zat ini dapat mencemari air dan tanah di sekitarnya. Negara-negara seperti Taiwan, Jepang, dan Korea Selatan telah menerapkan regulasi yang lebih ketat melalui undang-undang seperti *Hot Spring Act* dan standar pembuangan air limbah (EPA, 2018). Regulasi tersebut mencakup langkah-langkah seperti desinfeksi, filtrasi, dan penggunaan *septic tank* sebelum air limbah dibuang ke lingkungan (Yu-Tzu, 2004).

Meskipun demikian, terdapat beberapa strategi pengelolaan lingkungan yang dapat diterapkan untuk mengurangi pencemaran pada ekosistem darat dan perairan di lokasi penelitian. Strategi-strategi ini berfokus pada perlindungan lingkungan (Yu, 2015) dan melibatkan penyesuaian teknik pengelolaan berdasarkan sumber referensi yang disesuaikan dengan kondisi di lokasi penelitian.

Pada Titik 1, kerusakan terjadi pada ekosistem terestrial maupun akuatik. Strategi yang dapat dilakukan adalah melalui perbaikan fasilitas berupa pembangunan fasilitas mandi terpisah dengan kolam air panas untuk mengurangi beban pencemaran sabun yang masuk ke aliran air panas (Derso dkk., 2015), pembuangan limbah sabun ke *septic tank* untuk mencegah buangan ke aliran sungai atau pertanian, dan penurunan suhu air panas dengan air sungai yang ada untuk mengurangi cekaman pada tanah, air sungai, hingga aktivitas pertanian. Selain itu, penerapan fitoremediasi menggunakan tumbuhan hiperakumulator seperti *Brassica juncea*, *Calopogonium mucunoides*, atau *Cordyline fruticosa*. Tumbuhan tersebut efektif menyerap logam berat dan memperbaiki tanah yang tercemar khususnya lahan pertanian (Hidayati, 2005; Arsyad dkk., 2011; Hidayanti, 2013). Perbaikan pH dan struktur tanah dapat dilakukan dengan penambahan bahan organik, seperti pupuk kandang, yang mampu mengikat ion logam dan menstabilkan tanah (Tan, 1982; Emma dkk., 2007).

Titik 2 menunjukkan adanya tekanan lingkungan terutama pada ekosistem akuatik. Jenis pencemaran yang paling terlihat adalah

peningkatan suhu dan penurunan kualitas air sungai yang ditandai dengan adanya busa dari sabun serta sampah plastik. Selain buangan air panas, aktivitas manusia juga meningkatkan risiko pencemaran berkelanjutan (Romero Rojas dkk., 2021). Untuk mengatasinya, perlu disediakan tempat sampah, dibuat saluran pembuangan limbah tertutup, serta dipisahkan antara kolam mandi utama dan kolam penampungan limbah. Langkah ini membantu mengontrol pencampuran air panas dengan air sungai. Mengingat air panas dengan suhu lebih dari 28°C dapat membahayakan organisme akuatik (Sutisna & Sutarmanto, 1995; Cheng dkk., 2012; Hanisa dkk., 2017), air limbah sebaiknya dibuang dan dialirkan menuju sungai yang memiliki debit lebih besar dengan pipa sehingga pendinginan alami dapat berlangsung. Selain itu, peningkatan peran masyarakat dalam menjaga kebersihan penting untuk mengurangi beban pencemaran dari pengunjung.

Titik 3 mengalami kerusakan lingkungan paling signifikan pada ekosistem terestrial maupun akuatik, ditandai dengan kematian vegetasi, degradasi tanah, hingga berkurangnya keanekaragaman biota akuatik. Kerusakan semacam ini dapat menghilangkan dan menurunkan potensi kegunaan lahan untuk mendukung kehidupan (Barrow, 1991) serta merusak kualitas air sungai. Air panas dari sistem *geothermal* juga berpotensi membawa logam berat seperti Fe, Mn, atau Hg, sehingga memperburuk kondisi tanah (Adji dkk., 2008) maupun air sungai. Intervensi yang diperlukan mencakup pengalihan aliran air panas menuju sungai lebih besar melalui pipa sehingga pendinginan alami dapat terjadi dan tidak mencemari sungai kecil, serta konsentrasi logam dapat berkurang sebelum memasuki ekosistem yang sensitif (Yu, 2015). Sedangkan tanah yang telah tercemar perlu dilakukan pemulihan tanah melalui fitoremediasi dan penambahan bahan organik. Penerapan bakteri pereduksi logam berat seperti *Alcaligenes faecalis*, *Bacillus* sp., atau *Pseudomonas* sp. dapat memperkuat proses ini, karena bakteri tersebut mampu mengakumulasi ion logam dan menurunkan tingkat toksisitas (Jamilah & Amri, 2019; Fahrudin dkk., 2020).

Kerusakan yang di Titik 4 terjadi pada kedua ekosistem. Kerusakan khususnya terjadi pada lahan pertanian dan sungai kecil. Strategi yang dapat dilakukan adalah pembuatan saluran khusus untuk menyalurkan air panas ke sungai

yang lebih besar di sekitarnya. Buangan tersebut perlu dilakukan penurunan suhu terlebih dahulu dengan pencampuran mata air sehingga air panas yang dialirkan memiliki suhu yang cenderung normal. Selain itu, buangan air panas tidak lagi dialirkan ke lahan pertanian yang dapat merusak kualitas tanah karena kenaikan suhu, penurunan pH, dan logam berat. Masyarakat dan pemerintah daerah setempat perlu membentuk zona penyangga vegetasi di sekitar sawah untuk mengurangi paparan langsung air panas ke lahan pertanian. Pemanfaatan metode fitoremediasi dapat digunakan untuk upaya pencegahan dan perbaikan kualitas tanah menggunakan spesies seperti *Eichhornia crassipes* atau *Myriophyllum aquaticum* dapat membantu menurunkan kontaminan dan memperbaiki struktur tanah (Sari dkk., 2019; Wafiq & Munfarida, 2023). Fasilitas mandi terpisah dan tempat sampah juga perlu dibangun untuk mengurangi pencemaran sabun dan sampah plastik.

Pada titik 5 menunjukkan dampak lingkungan paling ringan terutama pada ekosistem akuatik. Namun, terdapat akumulasi lumut akibat minimnya pengelolaan berupa pengurusan kolam secara rutin serta adanya sampah plastik. Meskipun suhu air panas tidak ekstrem dan berada dalam rentang aman, namun akumulasi bahan organik dan kekeruhan air secara bertahap dapat menyebabkan beban pencemaran. Strategi yang dapat dilakukan adalah penyediaan fasilitas kebersihan, pembersihan kolam, dan revitalisasi saluran buangan yang mengalir ke sungai kecil di sekitarnya. Program edukasi berbasis masyarakat dapat mendorong peningkatan kesadaran terhadap kebersihan lingkungan sehingga tekanan antropogenik dapat diminimalkan.

KESIMPULAN

Aktivitas pemandian air panas di wilayah Desa Tegalsari, Kecamatan Garung, Kabupaten Wonosobo memberikan dampak nyata terhadap lingkungan sekitar baik ekosistem terestrial maupun akuatik. Bentuk pencemaran dapat ditunjukkan pada peningkatan suhu tanah, penurunan kesuburan tanah, kematian vegetasi, terganggunya kehidupan organisme akuatik, hingga menurunnya kualitas air sungai. Faktor-faktor yang menyebabkan kerusakan tersebut meliputi suhu air dan tanah yang tinggi, pH

rendah, kandungan logam berat dari sumber air panas, serta faktor antropogenik.

Upaya pengelolaan lingkungan perlu diarahkan pada pengendalian aliran air panas agar tidak langsung mencemari lahan pertanian dan sungai kecil, melainkan dialihkan ke sungai yang lebih besar dengan kapasitas debit yang tinggi dengan memperhatikan keberlanjutan ekosistem. Selain itu, strategi pemulihan dapat dilakukan melalui penanaman vegetasi dan penggunaan bakteri penyerap logam berat, penggunaan bahan organik, dan peningkatan kesadaran masyarakat terhadap kebersihan lingkungan. Hal itu dikarenakan selain dari faktor lingkungan, faktor aktivitas manusia juga berperan dalam kerusakan lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak-pihak yang telah berkontribusi dalam membantu menyelesaikan penelitian ini, di antaranya adalah Pemerintah Desa Tegalsari, pengelola pemandian air panas, masyarakat sekitar, dan narasumber yang telah memberi banyak informasi dan memberi ruang untuk diskusi demi selesainya penelitian ini, serta *reviewers* dan editor *Journal of Geographical Sciences and Education* yang telah membantu meningkatkan kualitas naskah.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, S. S., Sunarsih, D., & Hamda, S. (2008). Pencemaran Logam Berat dalam Tanah dan Tumbuhan serta Upaya Mengurangnya. *Seminar Nasional Kimia XVIII di FMIPA UGM*.
- Alloway, B. J. (1995). *Heavy Metals in Soils*. London: Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall.
- Andriani, V., & Karmila, R. (2019). Pengaruh Temperatur terhadap Kecepatan Pertumbuhan Kacang Tolo (*Vigna sp.*). *STIGMA: Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Unipa*, 12(01), 49-53.
- Arsyad, A. R., & Farni, Y. (2011). Aplikasi Pupuk Hijau (*Calopogonium mucunoides* dan *Pueraria javanica*) terhadap Air Tanah Tersedia dan Hasil Kedelai. *Jurnal Hidrolitan*, 2(1), 31-39.
- Barrow, C.J. (1991). *Land Degradation: Development and Breakdown of the Terrestrial Environments*. USA: Cambridge University Press.

- Chahaya, I. (2003). *Ikan sebagai Alat Monitor Pencemaran* (Skripsi, [Sumatera Utara]: Universitas Sumatera Utara).
- Cheng, L., Lek, S., Lek-Ang, S., & Li, Z. (2012). Predicting Fish Assemblages and Diversity in Shallow Lakes in the Yangtze River basin. *Limnologia*, 42(2), 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2011.09.007>
- Davidson, E. A., & Janssens, I. A. (2006). Temperature Sensitivity of Soil Carbon Decomposition and Feedbacks to Climate Change. *Nature*, 440(7081), 165-173. <https://doi.org/10.1038/nature04514>
- Dent, F. J. (1993). Towards A Standard Methodology for The Collection and Analysis of Land Degradation Data. *Proposal for Discussion, Expert Consultation of the Asian Network on Problems Soils*, 25-29.
- Derso, S., Beyene, A., Melaku, G., & Ambelu, A. (2015). Ecological Status of Hot Springs in Eastern Amhara Region: Macroinvertebrates Diversity. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, 14(2), 1-22.
- Dinas Pertanian. (2021, May 5). Pengaruh pH Tanah Terhadap Pertumbuhan Tanaman. *Dinas Pertanian*. Retrieved from <https://distan.bulelengkab.go.id>.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisus
- Emma, T.S., M. Oviyanti, & S. Apong. (2007). *Pengaruh Sampah Kota dan Pupuk Kandang Domba terhadap Beberapa Sifat Kimia Tanah dan Hasil Tanaman Jagung Manis (Zea mays saccharata) pada Fluventic Eutrudept Asal Jatinangor, Kabupaten Sumedang* (Laporan Hasil Penelitian Peneliti Muda (Litmud) UNPAD). Fakultas Pertanian, Universitas Pajajaran Bandung.
- EPA. (2018). Authorization to Discharge Under the National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES Permit No TX0086193). US Environmental Protection Agency. https://19january2021snapshot.epa.gov/sites/static/files/2020-08/documents/2020_permit_draft_tx0086193.pdf
- Fahrudin, F., Santosa, S., & Sareda, S. (2020). Toleransi Logam Berat Timbal (Pb) pada bakteri indigenous dari air laut Pelabuhan Paotere, Makassar. *Journal of Aquatic Science and Management*, 8(1), 8-14. <https://doi.org/10.35800/jasm.8.1.2020.29572>
- Hanisa, E., Nugraha, W. D., & Sarminingsih, A. (2017). Penentuan Status Mutu Air Sungai Berdasarkan Metode Indeks Kualitas Air–National Sanitation Foundation (Ika-Nsf) sebagai Pengendalian Kualitas Lingkungan (Studi Kasus: Sungai Gelis, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), 1-15.
- Hidayanti, N. (2013). Mekanisme Fisiologis Tumbuhan Hiperakumulator Logam Berat. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 14(2), 75-82. <https://doi.org/10.29122/jtl.v14i2.1424>
- Hidayati, N. (2005). *Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator*. Bogor: Pusat Penelitian Biologi LIPI.
- Jamilah, J., & Amri, A. (2019). Analisis Bakteri Pengakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) di Tanah Pembuangan Limbah Industri Non-Pangan. *Celebes Biodiversitas*, 2(2), 7-13.
- Jelahut, F. E. (2022). *Aneka Teori dan Jenis Penelitian Kualitatif*. Center for Open Science. <https://doi.org/10.31219/osf.io/ymzqp>
- Juliansyah, H., Khairisma, K., Andriyani, D., Bakar, J. A., & Yurina, Y. (2022). Pelatihan Pengukuran pH Tanah (Mitra Desa Blang Gurah). *Jurnal Pengabdian Kreativitas (JPek)*, 1(1), 24-28. <https://doi.org/10.29103/jpek.v1i1.8271>
- Khoiriyah, S., Hidayatullah, A., & Adi, N. P. (2023). Pengelolaan Lingkungan Air Menjadi Objek Wisata Pemandian Air Panas Tegalgunung Desa Tegalsari dan Dampak Ekonomi. *Al-Qalam: Jurnal Ilmu Kependidikan*, 24(1), 61-68. <https://doi.org/10.32699/al-qalam.v24i2.5330>
- Kulla, O. L. S., Yuliana, E., & Supriyono, E. (2020). Analisis Kualitas Air dan Kualitas Lingkungan untuk Budidaya Ikan di Danau Laimadat, Nusa Tenggara Timur. *Pelagicus*, 1(3), 135-144. <http://dx.doi.org/10.15578/plgc.v1i3.9290>

- Lestari, P., & Trihadiningrum, Y. (2019). The Impact of Improper Solid Waste Management to Plastic Pollution in Indonesian Coast and Marine Environment. *Marine Pollution Bulletin*, 149, 110505. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110505>
- Lin, J. Y., Chen, Y. C., Chiu, C. W., & Chen, W. H. (2005). Impact of Hot Spring Bathing Water on the Water Quality in the Nan-Shih Creek. *Journal of the Chinese Institute of Environmental Engineering*, 15(2), 91-99.
- Maghfiroh, N., Asiyah, S., & Adi, N. P. (2024). Analisis Pengaruh Pencemaran Belerang Terhadap Sifat Termal di Pemandian Air Panas Kalianget Wonosobo Menggunakan Prinsip Fisika Lingkungan. *Journal of Research and Publication Innovation*, 2(3), 2075-2081.
- Masriat, R., Haryanto, A. D., Hutabarat, J., & Gentana, D. (2021). Karakteristik Air Panas dan Estimasi Temperatur Reservoir Daerah Cisolok-Cisukrame, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. *Geoscience Journal*, 5(1), 40-48. <https://doi.org/10.24198/pgj.v5i1.35209>
- Mubarok, S., Salimah, A., Farida, F., Rochayat, Y., & Setiati, Y. (2012). Pengaruh Kombinasi Komposisi Media Tanam dan Konsentrasi Sitokinin terhadap Pertumbuhan Aglaonema. *Jurnal Hortikultura*, 22(3), 251-257. <https://doi.org/10.21082/jhort.v22n3.2012.p251-257>
- Mutmainah, M., Irawan, A. B., Lukito, H., Algary, T. A., & Wicaksono, A. P. (2025). Kajian Kandungan Logam Berat Unsur Ni, Cu dan Zn pada Mataair Panas Parangwedang, di Desa Parangtritis, Kapanewon Kretek, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumihan SATU BUMI*, 6(1). <https://doi.org/10.31315/psb.v6i1.14458>
- Ningsih, R., Slamet, S., & Wijaya, K. A. (2021). Pengaruh Cekaman Suhu Tinggi pada Fase Bibit terhadap Pertumbuhan dan Hasil Umbi Dua Varietas Tumbuhan Kentang (*Solanum Tuberosum* L.). *Agriprima: Journal of Applied Agricultural Sciences*, 5(2), 180-188. <https://doi.org/10.25047/agriprima.v5i2.390>
- Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Permana, M. S., & Hamdani, H. (2015). Pengaruh Kegiatan Geothermal Terhadap Keanekaragaman Ikan Di Aliran Sungai Cikaro, Kabupaten Bandung. *Jurnal Perikanan Kelautan*, 6(2).
- PWK USM. (2023, February). *Masterplan Agro Industri & Eco Tourism Kecamatan Garung*. https://issuu.com/pwk.usm/docs/masterplan_kecamatan_garung_kelompok_2/9
- Rahayu, N.I., Rosmaidar, Hanafiah, M, Karmil, T.F., Helmi, T.Z., Daud, R. (2017). Pengaruh Paparan Timbal (Pb) terhadap Laju Pertumbuhan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Veteriner*. 1(4), 658-665. <https://doi.org/10.21157/jim%20vet.v1i4.4757>
- Romero Rojas, J, Sanchez Londoño, Y, Quiñones-Bolaños, E, Rodriguez Cheu, L, González Leal, R, Mehrvar, M, McCarthy, L y Reuss, A. (2021). Impact of the Sewage Discharge from Hot Springs to Water Sources. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI - EIEI ACOFI*, 1(1-6) <https://doi.org/10.26507/ponencia.1691>
- Rozali, Y. A. (2022). Penggunaan Analisis Konten dan Analisis Tematik. *Forum Ilmiah*, 19(1), 68-76.
- Sari, N. E. P., Nurlela, N., & Wardoyo, S. E. (2019). Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Cd dengan Menggunakan Tanaman Hanjuang (*Cordyline fruticosa*). *Sains Natural: Journal of Biology and Chemistry*, 9(2), 57-65. <https://doi.org/10.31938/jsn.v9i2.230>
- Subagiya, B. (2023). Eksplorasi Penelitian Pendidikan Agama Islam Melalui Kajian Literatur: Pemahaman konseptual dan Aplikasi Praktis. *Ta'dibuna: Jurnal Pendidikan Islam*, 12(3), 304-318. <https://doi.org/10.32832/tadibuna.v12i3.13829>
- Suoth, V. A., Said, Y. H., & Kolibu, H. S. (2024). Identifikasi Sebaran Suhu Air Panas Terhadap Manivestasi Panas Bumi di Desa Tempang Dua Kabupaten Minahasa Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal*

- MIPA, 14(1), 6-10.
<https://doi.org/10.35799/jm.v14i1.56937>
- Sutisna, D.H., & R. Sutarmanto. (1995). *Pembenihan Ikan Air Tawar*. Yogyakarta: Kanisius.
- Tan, K.H. (1982). *Principles of Soil Chemistry*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Towijaya, T., Musyhar, G., & Satria, N. (2019). Pemanfaatan Geothermal dan Dampaknya Terhadap Lingkungan. *Cahaya Bagaskara: Jurnal Ilmiah Teknik Elektronika*, 4(1), 11-17.
- Wafiq, M., & Munfarida, I. (2023). Fitoremediasi Logam Berat Merkuri (Hg) Menggunakan Tanaman *Myriophyllum aquaticum* dengan Sistem Batch. *Jurnal Ilmiah Lingkungan Kebumihan*, 6(1), 51-60.
<https://doi.org/10.31315/jilk.v6i1.10210>
- Yanti, I., & Kusuma, Y. R. (2022). Pengaruh Kadar Air dalam Tanah Terhadap Kadar C-Organik dan Keasaman (pH) Tanah. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(2), 92-97.
<https://doi.org/10.20885/ijcr.vol6.iss2.art5>
- Yolanda, S., Rosmaidar, Nazaruddin, Armansyah, T., Balqis, U., and Fahrma, Y. (2017). Pengaruh Paparan Timbal (Pb) terhadap Histopatologis Insang Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Veteriner*, 1(4), 736-741.
<https://doi.org/10.21157/jimvet.v1i4.4992>
- Yorifuji, T., Takaoka, S., & Grandjean, P. (2018). Accelerated Functional Losses in Ageing Congenital Minamata Disease Patients. *Neurotoxicology and Teratology*, 69, 49-53.
<https://doi.org/10.1016/j.ntt.2018.08.001>
- Yu, T. (2015). Study on the Sustainable Development of the Hot Spring Tourism in Heyuan City. *Proceedings of the 2015 International Forum on Energy, Environment Science and Materials*.
<https://doi.org/10.2991/ifeesm-15.2015.215>
- Yuni, D. P. (2020). Dampak Pencemaran Logam Berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) terhadap Organisme Perairan dan Kesehatan Manusia. *Jurnal Akuatek*, 1(1), 59-65.
<https://doi.org/10.24198/akuatek.v1i1.28135>
- Yu-Tzu, C. (2004, October 13). EPA Plans to Regulate Hot-Spring Wastewater. *Taipei Times*. Retrieved from <https://www.taipeitimes.com/News/taiwan/archives/2004/10/13/2003206666>
- Zulfahmi, I., Affandi, R., & Djamar. (2014). Kondisi Biometrik Ikan Nila, (*Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758)) yang terpapar merkuri. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 14(1), 37-48.
<https://doi.org/10.32491/jii.v14i1.94>



Copyright (c) 2025 by the author. This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).