

Vol. 7 No. 1 (2026), Halaman 124-134



GEOGRAPHIA

Jurnal Pendidikan dan Penelitian Geografi

ISSN: 2774-6968

EVALUASI KUALITAS AIR FISIK-KIMIA MATA AIR ULUNA DALAM SISTEM HIDROGEOLOGI CAT MANADO

Karina Meiyanti Maulana^{1*}, Grace Feibe Evangelista Suoth², Selvana Treny Rosita Tewel³,
Indrawan⁴, Ahmad Syamsu Rijal S⁵, Bunga Ida Setiani Napitu⁶, Evita Fransisca Wewengkang⁷

^{1*2367}Program Studi Geografi, Universitas Negeri Manado, Indonesia

⁴School of Geography, Earth and Atmospheric Sciences, The University of Melbourne, Australia

⁵Program Studi Geografi, Universitas Muhammadiyah Gorontalo, Indonesia

Email: karinameiyanti@unima.ac.id^{1*}, gracesuoth@unima.ac.id², selvana_tewel@unima.ac.id³,
indrawan@student.unimelb.edu.au⁴, ahmadsyamsurijals@umgo.ac.id⁵, bunganapitu15@gmail.com⁶,
wewengkangevita3@gmail.com⁷

Website Jurnal: <http://ejurnal.unima.ac.id/index.php/geographia>



Akses dibawah lisensi CC BY-SA 4.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

DOI: <https://doi.org/10.53682/d00v0c34>

(Diterima: 19-04-2026; Direvisi: 13-05-2026; Disetujui: 10-06-2026)

ABSTRACT

Uluna Spring in Tuutu Village, South Tondano District, Minahasa Regency serves as a natural water source for local hygiene and sanitation needs. This study evaluates water quality based on physical and chemical parameters within the hydrogeological framework of the Manado Groundwater Basin (CAT Manado). Grab sampling was conducted at a single discharge point with three replicates in December 2025 (SNI 6989.57-2008), analyzed at the Manado Community Health Laboratory. All tested parameters TDS (83 mg/L), turbidity (0.7 NTU), Fe (<0.0394 mg/L), Mn (<0.0058 mg/L), nitrite (<0.001 mg/L), nitrate (3 mg/L), and pH (7.6) complied with PERMENKES RI No. 2 of 2023 standards. Dissolved chromium was detected at 0.11 mg/L without a specific regulatory benchmark, necessitating Cr³⁺/Cr⁶⁺ speciation analysis in future research. The favorable water quality is attributed to high-permeability alluvial deposits acting as natural filters and the spring's position within the CAT Manado discharge zone. However, increasing recreational use poses potential contamination risks, underscoring the need for periodic hydrogeology-based monitoring.

Keywords: CAT Manado, Hydrogeology, Uluna spring, Water quality

ABSTRAK

Mata Air Uluna di kelurahan Tuutu, kecamatan Tondano Selatan, kabupaten Minahasa dimanfaatkan masyarakat untuk keperluan higiene dan sanitasi. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kualitas air berdasarkan parameter fisik dan kimia dalam kerangka hidrogeologi Cekungan Air Tanah (CAT) Manado. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode grab sampling pada satu titik keluaran mata air dengan tiga ulangan pada bulan Desember 2025 (SNI 6989.57-2008), dan diuji di Balai Laboratorium Kesehatan Masyarakat Manado. Seluruh parameter yang dianalisis TDS (83 mg/L), kekeruhan (0,7 NTU), Fe (<0,0394 mg/L), Mn (<0,0058 mg/L), nitrit (<0,001 mg/L), nitrat (3 mg/L), dan pH (7,6) memenuhi baku mutu PERMENKES RI No. 2 Tahun 2023. Kromium terlarut terdeteksi sebesar 0,11 mg/L, namun belum memiliki baku mutu pembanding dalam regulasi tersebut sehingga

kajian spesiasi Cr^{3+}/Cr^{6+} diperlukan pada penelitian lanjutan. Kondisi kualitas air yang baik dipengaruhi oleh karakteristik endapan aluvial berpermeabilitas tinggi sebagai filter alami serta posisi mata air pada zona lepasan CAT Manado. Meskipun demikian, pemanfaatan mata air sebagai destinasi wisata berpotensi meningkatkan risiko pencemaran sehingga pemantauan berkala berbasis sistem hidrogeologi sangat diperlukan.

Kata Kunci: CAT Manado, Hidrogeologi, Kualitas air, Mata air Uluna

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya esensial yang mendukung kehidupan manusia, baik untuk kebutuhan domestik, pertanian, maupun industri. Namun, peningkatan jumlah penduduk, urbanisasi, serta aktivitas industri dan pertanian telah memberikan tekanan signifikan terhadap kualitas sumber daya air, baik air permukaan maupun air tanah (Chaudhari et al., 2026). Degradasi kualitas air menjadi isu global, terutama di negara berkembang, yang masih menghadapi keterbatasan dalam pengelolaan limbah sehingga meningkatkan risiko pencemaran dan dampak terhadap kesehatan manusia.

Mata air sebagai bagian dari sistem air tanah memiliki peran strategis dalam penyediaan air bersih, khususnya di wilayah yang belum terlayani jaringan air perpipaan. Air mata air berasal dari infiltrasi air hujan atau air permukaan yang tersimpan dalam akuifer (Iqlima et al., 2020), dan secara global menyumbang lebih dari separuh kebutuhan air minum (Guagliardi et al., 2026). Namun, keberlanjutan mata air menghadapi berbagai tekanan, seperti perubahan iklim yang menyebabkan penurunan curah hujan serta aktivitas antropogenik seperti pertanian dan urbanisasi yang dapat menurunkan debit dan kualitas air (Al-Hamaiedeh et al., 2023; Li & Wu, 2019).

Kualitas air mata air dipengaruhi oleh faktor alami dan antropogenik. Faktor alami meliputi kondisi geologi, proses hidrogeokimia, serta interaksi air–batuan, sedangkan faktor antropogenik meliputi limbah domestik, aktivitas pertanian, dan perubahan tata guna lahan (Guagliardi et al., 2026). Proses tersebut memengaruhi parameter fisik-kimia seperti pH, suhu, kandungan mineral, dan unsur kimia lainnya. Selain itu, kondisi redoks dan jalur aliran air turut menentukan karakteristik kimia air tanah (Natarajan et al., 2026). Di sisi lain, pencemaran oleh kontaminan organik dan anorganik seperti *nutrien*, logam berat, serta mikroorganisme patogen dapat menurunkan kualitas air dan meningkatkan risiko kesehatan

(Dao et al., 2026), terutama di wilayah dengan sanitasi yang kurang baik (Kindeke et al., 2026).

Berbagai penelitian terdahulu umumnya menekankan analisis kualitas air menggunakan parameter fisik-kimia dan indeks kualitas air untuk menggambarkan kondisi sumber daya air secara umum. Namun, kajian yang secara spesifik mengevaluasi kualitas air pada sumber mata air lokal dengan pendekatan parameter fisik-kimia yang terintegrasi masih terbatas, khususnya pada konteks wilayah studi tertentu. Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan untuk melakukan evaluasi yang lebih spesifik dan kontekstual terhadap sumber mata air sebagai penyedia air baku.

Sejumlah penelitian kualitas air mata air telah dilakukan di berbagai wilayah dengan konteks geologi serupa. Al-Hamaiedeh et al., (2023), mengevaluasi kualitas air mata air di kawasan batuan karbonat Yordania dan menemukan dominasi ion bikarbonat serta rendahnya kandungan logam berat. Sulaiman et al., (2020), mengkaji mata air di wilayah Bartella–Irak dan memperoleh hasil parameter fisik-kimia yang memenuhi standar WHO, meskipun terdapat variasi musiman. Penelitian Kindeke et al., (2026), menunjukkan bahwa mata air di wilayah Kongo dengan kondisi sanitasi rendah mengandung kontaminasi mikrobiologi meski parameter fisik-kimianya masih terpenuhi.

Di Indonesia, kajian serupa telah dilakukan di beberapa lokasi seperti Semarang (Iqlima et al., 2020), namun kajian komprehensif terhadap mata air di kawasan vulkanik Sulawesi Utara, khususnya dalam konteks sistem CAT masih sangat terbatas. Tidak ada studi yang secara spesifik mengintegrasikan analisis kualitas air fisik-kimia Mata air Uluna dengan kerangka hidrogeologi CAT Manado sebagai dasar pengelolaan.

Pengendalian kualitas air mata air alami menjadi prioritas penting bagi pemerintah mengingat perannya sebagai sumber air baku untuk kebutuhan air minum, sanitasi, dan berbagai proses industri (Sulaiman et al., 2020;

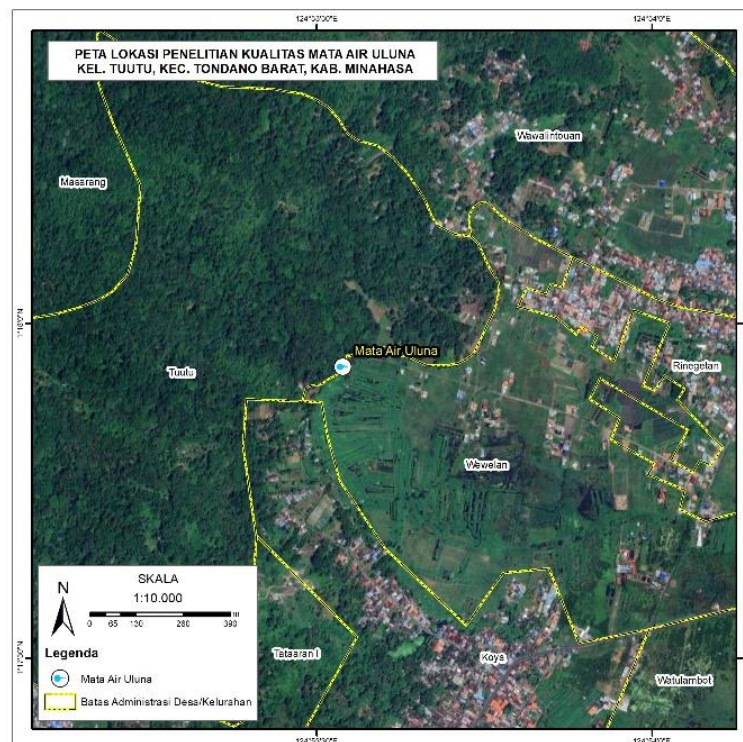
Winqvist et al., 2011). Apalagi, mata air Uluna kini menjadi tempat kegiatan wisata, (Rompas et al., 2023), sehingga tekanan antropogenik tinggi yang mempengaruhi kualitas air. Oleh karena itu, evaluasi kualitas air berdasarkan parameter fisik-kimia menjadi langkah penting dalam memastikan kelayakan dan keamanan air serta sebagai dasar dalam pengelolaan sumber daya air secara berkelanjutan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini memiliki tujuan untuk (1) mengevaluasi kualitas air mata air Uluna berdasarkan parameter fisik dan kimia sesuai baku mutu PERMENKES RI No. 2 Tahun 2023, (2) menganalisis pengaruh kondisi hidrogeologi CAT Manado terhadap karakteristik kualitas air. Mata air Uluna merupakan salah satu sumber air yang digunakan masyarakat sekitar untuk keperluan higiene dan sanitasi. Penelitian

ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah terkait kondisi kualitas air serta menjadi dasar dalam upaya pengelolaan dan perlindungan sumber daya air secara berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan uji laboratorium kualitas air. Metode ini digunakan untuk menggambarkan kondisi kualitas air mata air berdasarkan parameter fisika, dan kimia secara objektif melalui hasil pengujian laboratorium. Penelitian ini dilakukan di Mata Air Uluna yang berlokasi di kelurahan Tuutu, kecamatan Tondano Selatan, kabupaten Minahasa. Peta lokasi mata air Uluna dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Pengambilan sampel air dilakukan menggunakan metode *grab sampling* (pengambilan sesaat) pada satu titik representatif di lokasi keluarnya mata air (*discharge point*), sesuai prosedur SNI 6989.57-2008 tentang pengambilan contoh air permukaan. Sampel diambil sebanyak tiga ulangan pada waktu yang sama untuk menjamin representativitas data. Pengambilan sampel dilaksanakan pada bulan Desember 2025.

Sumber data dalam penelitian ini adalah data primer yang diperoleh langsung dari hasil pemeriksaan laboratorium terhadap sampel air mata air. Parameter yang diuji meliputi parameter fisika (bau, suhu, *total dissolved solid*/TSD, dan kekeruhan) dan parameter kimia (pH, Besi, Mangan, Kromium, Nitrat dan Nitrit). Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif komparatif, yaitu dengan membandingkan hasil uji laboratorium

dengan baku mutu kualitas air yang mengacu pada PERMENKES RI No. 02 Tahun 2023 tentang Persyaratan Kualitas Air dan PP No. 22 Tahun 2021 tentang Baku Mutu Air. Sebagai analisis pendukung, dihitung persentase pemenuhan baku mutu (% baku mutu) untuk setiap parameter menggunakan rumus:

$$\% \text{ Baku Mutu} = (\text{Nilai Terukur} / \text{Nilai Maksimum Baku Mutu}) \times 100\%$$

Parameter yang tidak memiliki batas baku mutu (seperti suhu dan pH) diinterpretasikan berdasarkan literatur standar hidrogeologi dan rujukan WHO yang dilansir pada [Hersch \(2012\)](#). Selain itu, dilakukan interpretasi

HASIL PENELITIAN

Mata air merupakan titik keluarnya air tanah yang terakumulasi dan muncul ke permukaan sebagai aliran. Menurut [Tolman \(1937\)](#), kondisi mata air dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain intensitas curah hujan, karakteristik hidrologi permukaan, kondisi topografi, sifat hidrologi akuifer, serta struktur geologi wilayah setempat ([Purnama, 2016](#)). Mata air Uluna merupakan salah satu sumber air alami yang terletak di wilayah Tondano, kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara. Lingkungan sekitar mata air Uluna umumnya masih didominasi

kualitatif terhadap kondisi hidrogeologi berdasarkan peta CAT Manado dan peta geologi regional. Hasil analisis kemudian digunakan untuk menentukan tingkat kelayakan air mata air sebagai air untuk keperluan higiene dan sanitasi berdasarkan standar yang berlaku.

Untuk memastikan validitas data, diterapkan prosedur kontrol kualitas meliputi; (1) penggunaan botol sampling steril dan berlabel; (2) pengiriman sampel ke laboratorium terakreditasi (Balai Laboratorium Kesehatan Masyarakat Manado) dalam waktu <24 jam dengan kondisi terjaga pada suhu $\pm 4^{\circ}\text{C}$; (3) seluruh pengujian mengacu pada metode standar SNI yang tercantum dalam [Tabel 1](#).

oleh vegetasi, yang berfungsi sebagai daerah resapan air (*catchment area*). Mata air ini memiliki nilai penting bagi masyarakat lokal karena menjadi salah satu sumber air yang mudah diakses. Saat ini, mata air Uluna mengalami pergeseran dari fungsi utilitas menjadi fungsi yang lebih beragam, seperti sumber air lokal masyarakat, bahkan menjadi objek wisata lokal dengan nilai rekreasi berbasis sumber daya air alami ([Rompas et al., 2023](#)). Lokasi mata air Uluna dapat dilihat pada [Gambar 2](#).



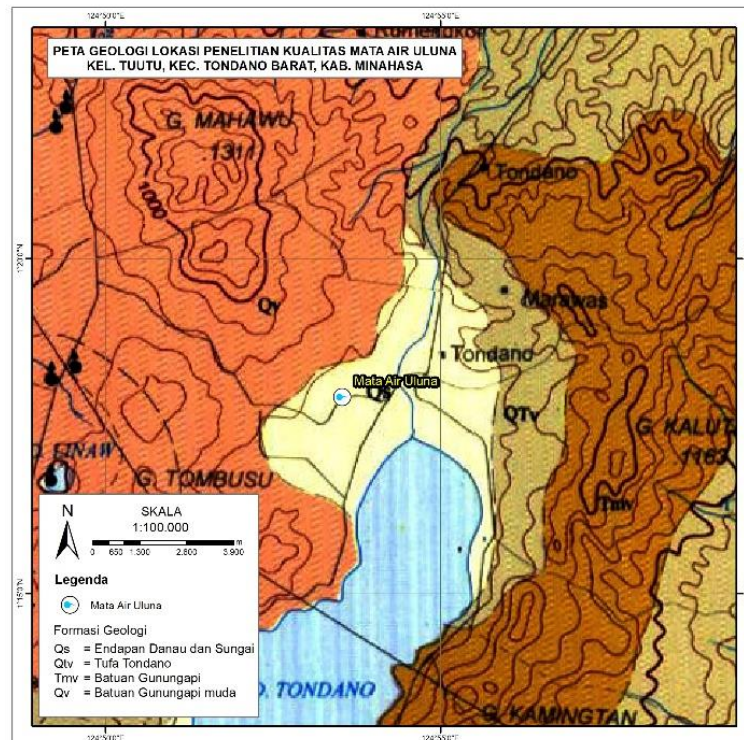
Gambar 2. Mata air Uluna

Secara regional, wilayah Tondano termasuk dalam zona vulkanik aktif Sulawesi Utara yang merupakan bagian dari busur vulkanik Sangihe. Aktivitas ini terbentuk akibat interaksi dan subduksi lempeng tektonik di kawasan utara Sulawesi, yang menghasilkan rangkaian gunung api aktif seperti Mahawu, Lokon, dan Soputan ([Effendi & Bawono, 1990](#)). Lokasi

mata air Uluna berada pada formasi endapan Danau dan Sungai. Endapan Danau dan Sungai menurut [Effendi & Bawono \(1990\)](#), merupakan batuan sedimen dan endapan permukaan yang terbentuk pada masa plistosen, dan terdiri dari pasir, lanau, konglomerat dan lempung napalan. Secara geologi, material penyusun akuifer umumnya terdiri atas lempung, pasir, dan

kerikil yang merupakan hasil proses erosi serta transportasi dari batuan di daerah hulu. Karakteristik endapan aluvial yang relatif tidak kompak menyebabkan porositas dan permeabilitasnya cukup tinggi, sehingga

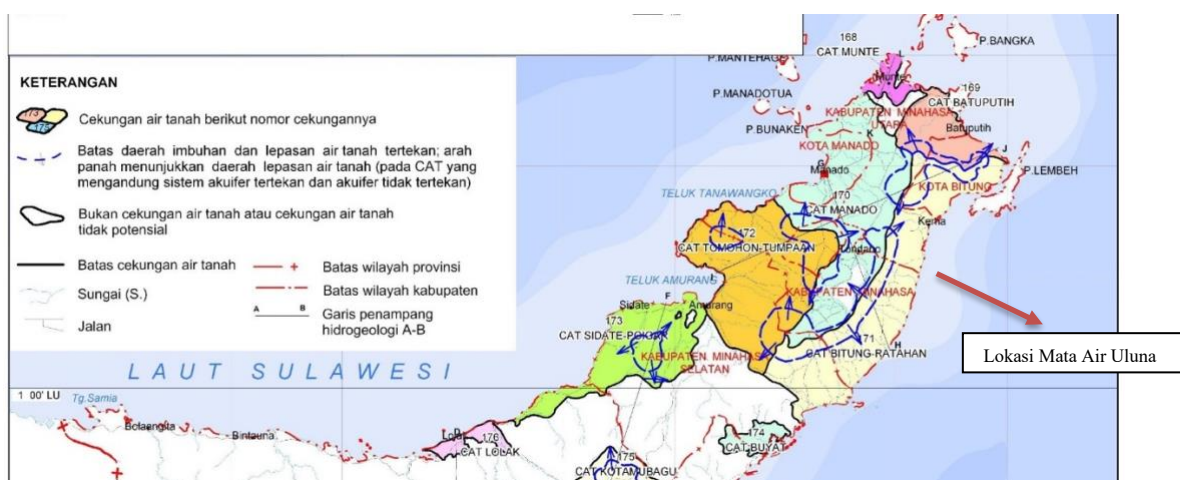
berpotensi menyimpan dan mengalirkan air tanah dengan baik (Irawan & Puradimaja, 2020). Peta Geologi dari lokasi mata air Uluna dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Geologi Lokasi Penelitian (Effendi & Bawono, 1990)

Daerah Tondano dan sekitarnya memiliki potensi sumber airtanah yang besar, karena merupakan bagian dari daerah Cekungan Air Tanah (CAT) Manado (Peraturan Menteri ESDM No. 2 Tahun 2017). Cekungan airtanah adalah suatu kesatuan hidrogeologi yang tersusun atas satu atau beberapa akuifer yang saling terhubung, membentuk suatu sistem

terpadu, dan dapat mengalami perubahan sebagai respons terhadap dinamika lingkungan (Todd, 1980; Zeffitni, 2011). Pada Gambar 4, dapat dilihat lokasi mata air Uluna berada pada sekitar wilayah batas daerah imbuhan dan lepasan air tanah tertekan, serta panah yang mengarah pada sekitar wilayahnya menunjukkan lokasi daerah lepasan air tanah.



Gambar 4. Peta Cekungan Air Tanah (Peraturan Menteri ESDM No. 2 Tahun 2017)

Hasil pengujian kualitas air pada mata air Uluna, kecamatan Tondano Selatan, kabupaten Minahasa menunjukkan karakteristik fisik dan kimia yang secara umum memenuhi baku mutu

air untuk keperluan higiene dan sanitasi berdasarkan PERMENKES RI No. 2 Tahun 2023. Hasil dari pengujian sifat fisik dan kimia mata air Uluna dapat dilihat pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Hasil Uji Laboratorium Mata Air Uluna

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Metode Pengujian	% Terhadap Baku Mutu
<i>Fisika</i>					
Bau	-	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Manual/Indra	0%
TDS	mg/L	<300	83	SNI 6989.27-2019	28%
Suhu	°C	(-)	26,2	SNI 06-6989.23-2005	0%
Kekeruhan	NTU	<3	0,7	SNI 06-6989.23-2005	23%
<i>Kimia</i>					
Besi (Fe) (terlarut)	mg/L	0,2	<0,0394	SNI 6989.84-2019	20%
Mangan (Mn) (terlarut)	mg/L	0,1	<0,0058	SNI 6989.84-2019	6%
pH	-	(-)	7,6	SNI 6989.11-2019	0
Kromium terlarut	mg/L	(-)	0,11	SNI 6989.84-2019	0
Nitrit (sebagai NO ₂) (terlarut)	mg/L	3	<0,001	SNI 06-6989.9-2004	33%
Nitrat (sebagai NO ₃) (terlarut)	mg/L	20	3	Cadmium Reduction Method 8039	15%

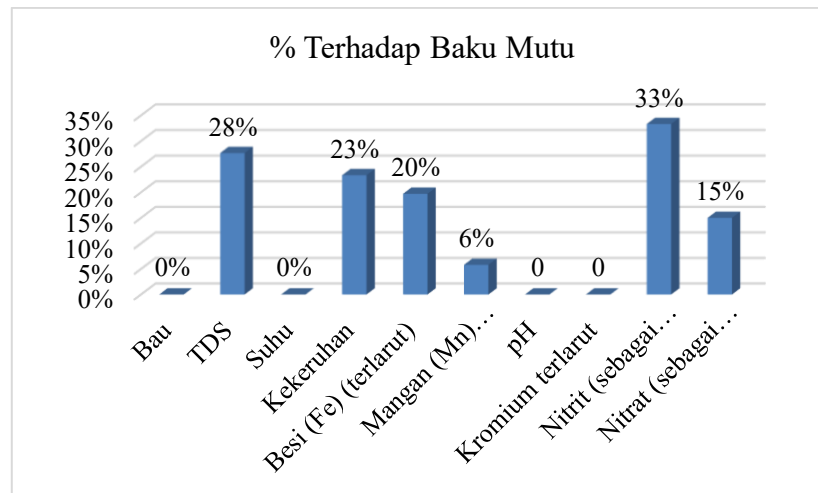
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, parameter fisik air menunjukkan kondisi yang relatif baik. Air tidak berbau (tidak berbau), yang mengindikasikan tidak adanya kontaminasi senyawa organik volatil yang dapat menimbulkan aroma. Nilai *Total Dissolved Solids* (TDS) sebesar 83 mg/L, masih jauh di bawah ambang batas maksimum 300 mg/L, sehingga menunjukkan kandungan zat terlarut yang rendah. Suhu air tercatat sebesar 26,2°C, yang masih dalam kisaran normal suhu lingkungan dan tidak menunjukkan adanya pencemaran termal. Sementara itu, tingkat kekeruhan sebesar 0,7 NTU juga berada di bawah baku mutu (<3 NTU), yang menunjukkan bahwa air memiliki kejernihan yang baik dan kandungan partikel tersuspensi yang rendah.

Hasil pengujian parameter kimia menunjukkan bahwa seluruh parameter yang diuji masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan. Konsentrasi besi (Fe) terlarut sebesar <0,0394 mg/L, jauh di bawah batas maksimum 0,2 mg/L, sehingga tidak berpotensi menimbulkan gangguan estetika maupun kesehatan. Kadar mangan (Mn) terlarut sebesar

<0,0058 mg/L, juga berada di bawah baku mutu 0,1 mg/L, yang menunjukkan rendahnya kandungan logam berat dalam air. Nilai pH sebesar 7,6 menunjukkan kondisi netral hingga sedikit basa, yang masih dalam kisaran aman untuk penggunaan air. Kandungan kromium terlarut terdeteksi sebesar 0,11 mg/L, namun tidak terdapat baku mutu spesifik pada parameter ini dalam acuan yang digunakan. Selain itu, kadar nitrit (NO₂) terlarut sebesar <0,001 mg/L berada jauh di bawah batas maksimum 3 mg/L, sedangkan kadar nitrat (NO₃) sebesar 3 mg/L juga masih berada di bawah ambang batas 20 mg/L. Grafik yang menjelaskan persentase hasil uji laboratorium terhadap baku mutu dapat dilihat pada [Gambar 5](#).

Grafik pada [Gambar 5](#) ini menampilkan perbandingan nilai hasil uji setiap parameter kualitas air Mata Air Uluna terhadap nilai baku mutunya. Secara keseluruhan, seluruh parameter baik fisik maupun kimia menunjukkan nilai hasil uji yang jauh lebih rendah dibandingkan batas baku mutu yang ditetapkan, yang konsisten berada di bawah baku mutu pada setiap parameter.



Gambar 5. Grafik Nilai Perbandingan Hasil Uji Laboratorium dengan Batas Baku Mutu

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas air mata air Uluna berdasarkan parameter fisik dan kimia secara umum memenuhi baku mutu air untuk keperluan hygiene dan sanitasi. Kondisi ini mencerminkan bahwa secara alami, sistem hidrogeologi di wilayah tersebut masih mampu menjaga kualitas air tanah dengan baik. Hal ini sejalan dengan konsep bahwa kualitas air tanah sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi, proses infiltrasi, serta interaksi air dengan batuan penyusun akuifer (Alitane et al., 2024; Guagliardi et al., 2026).

Pada parameter fisik, nilai TDS yang rendah (83 mg/L) menunjukkan bahwa kandungan zat terlarut dalam air relatif kecil, yang mengindikasikan minimnya kontaminasi dari bahan anorganik maupun organik. Kekerusuhan yang rendah (0,7 NTU) juga menunjukkan bahwa air memiliki tingkat kejernihan yang baik dan minim partikel tersuspensi. Kondisi ini dipengaruhi oleh proses filtrasi alami pada lapisan tanah dan batuan, khususnya pada endapan aluvial yang memiliki porositas dan permeabilitas tinggi. Proses ini memungkinkan partikel tersaring secara alami sebelum air keluar sebagai mata air.

Dibandingkan dengan penelitian pada mata air di kawasan serupa, nilai TDS mata air Uluna (83 mg/L) lebih rendah dari temuan Al-Hamaiedeh et al., (2023) di Bsaira, Yordania (rata-rata 450–700 mg/L) yang dipengaruhi batuan karbonat, namun sebanding dengan Iqlima et al., (2020) di Semarang (80–120 mg/L) yang juga berada pada endapan aluvial. Rendahnya TDS ini konsisten dengan karakteristik akuifer aluvial vulkanik yang lebih

didominasi mineral silikat dibandingkan karbonat, sehingga proses pelarutan mineral berlangsung lebih lambat (Hendrayana et al., 2024). Nilai nitrat (3 mg/L) sejalan dengan temuan Sulaiman et al., (2020) pada mata air di daerah dengan tekanan pertanian rendah (<5 mg/L), namun jauh lebih rendah dari nilai yang dilaporkan Dao et al., (2026) pada saluran irigasi perkotaan Vietnam (>10 mg/L), yang menegaskan bahwa pengaruh pertanian di sekitar Mata Air Uluna saat ini masih minimal.

Dari aspek kimia, seluruh parameter yang diuji seperti Fe, Mn, nitrit, dan nitrat berada di bawah baku mutu yang ditetapkan. Rendahnya kandungan logam seperti besi dan mangan menunjukkan bahwa interaksi air dengan batuan tidak menghasilkan pelarutan mineral dalam jumlah signifikan. Selain itu, rendahnya konsentrasi nitrit dan nitrat mengindikasikan bahwa pengaruh aktivitas antropogenik seperti limbah domestik dan pertanian di sekitar lokasi masih relatif kecil. Hal ini penting mengingat senyawa nitrogen merupakan indikator utama pencemaran air akibat aktivitas manusia (Dao et al., 2026). Kondisi serupa juga ditemukan pada mata air epikarst di Gunungsewu, yang menunjukkan bahwa nilai sulfat dan klorida yang rendah mengindikasikan minimnya pengaruh antropogenik pada mata air dengan daerah tangkapan yang relatif kecil dan minim aktivitas domestik (Riyanto & Cahyadi, 2023).

Nilai pH sebesar 7,6 menunjukkan kondisi netral hingga sedikit basa yang umum ditemukan pada air tanah di daerah vulkanik. Kondisi ini dipengaruhi oleh interaksi antara air dengan mineral batuan vulkanik yang cenderung meningkatkan alkalinitas air. Dalam kajian terhadap kualitas air sungai di kawasan

vulkanik muda Jawa juga melaporkan dominasi tipe air bikarbonat dengan nilai pH yang cenderung netral hingga sedikit basa sebagai ciri khas akuifer vulkanik di Indonesia (Hendrayana et al., 2023). Secara hidrogeologi, kondisi ini mendukung stabilitas kualitas air dan tidak menimbulkan risiko signifikan terhadap kesehatan.

Deteksi kromium terlarut sebesar 0,11 mg/L pada mata air Uluna perlu mendapat perhatian khusus. Keberadaan kromium dalam air tanah pada kawasan vulkanik umumnya berasal dari pelarutan alami batuan beku yang mengandung mineral kromat (seperti *chromite*) (Natarajan et al., 2026), atau dapat pula berasal dari aktivitas antropogenik seperti penggunaan pupuk fosfat atau limbah industri kecil. Tanpa data spesiasi, tidak dapat dipastikan apakah kromium hadir dalam bentuk Cr^{3+} (toksisitas rendah) atau Cr^{6+} yang bersifat karsinogenik. Georgaki et al., (2023), dalam kajian sistematis mereka menegaskan bahwa Cr^{6+} dalam air minum merupakan isu kesehatan masyarakat yang serius karena berkaitan dengan risiko karsinogenesis, dengan batas aman WHO ditetapkan sebesar 0,05 mg/L. Nilai kromium terlarut sebesar 0,11 mg/L yang terdeteksi melampaui batas tersebut, sehingga penilaian risiko kesehatan perlu mempertimbangkan kemungkinan spesiasi. Astuti et al., (2023), dalam penelitiannya di Indonesia menemukan bahwa meskipun konsentrasi rata-rata Cr^{6+} pada air tanah relatif rendah, nilai tersebut tetap melampaui *public health goals* (PHG) untuk air minum, sehingga pemantauan spesiasi kromium pada kajian lanjutan mata air Uluna menjadi langkah kewaspadaan dini yang perlu diprioritaskan.

Secara geologi, keberadaan mata air Uluna pada endapan danau dan sungai (aluvial) yang bersifat tidak kompak memberikan kontribusi besar terhadap ketersediaan air tanah. Material seperti pasir, lanau, dan kerikil memungkinkan air tersimpan dan mengalir dengan baik. Selain itu, posisi mata air yang berada pada zona lepasan air tanah dalam sistem cekungan air tanah (CAT) Manado memperkuat interpretasi bahwa mata air ini merupakan bagian dari sistem aliran air tanah regional.

Namun demikian, perubahan fungsi mata air Uluna yang saat ini juga dimanfaatkan sebagai lokasi pemandian dan objek wisata berpotensi memberikan tekanan terhadap kualitas air. Aktivitas manusia di sekitar sumber air dapat meningkatkan risiko pencemaran, terutama jika

tidak diimbangi dengan pengelolaan sanitasi yang baik. Razi et al., (2026), dalam kajiannya pada mata air di lereng Gunung Merapi menunjukkan bahwa perubahan tata guna lahan dan peningkatan aktivitas manusia di sekitar daerah tangkapan air secara nyata mempengaruhi dinamika kualitas air mata air secara musiman, terutama pada musim hujan ketika aliran permukaan membawa kontaminan dari aktivitas pertanian maupun domestik. Oleh karena itu, meskipun kondisi saat ini masih memenuhi standar, diperlukan upaya pengelolaan yang berkelanjutan untuk menjaga kualitas air di masa depan.

Meskipun kondisi kualitas air saat ini masih memenuhi baku mutu, tren perubahan fungsi Mata Air Uluna menjadi destinasi wisata dan pemandian umum berpotensi menurunkan kualitas air secara bertahap. Berdasarkan kajian Kindeke et al., (2026), peningkatan aktivitas manusia di sekitar sumber air di daerah berkembang terbukti meningkatkan konsentrasi parameter mikrobiologi dan *nutrien* dalam rentang waktu 2–5 tahun. Oleh karena itu, kajian lanjutan yang memuat pemantauan berkala (minimal dua kali per tahun pada musim hujan dan kemarau), uji mikrobiologi, serta pemetaan spasial daerah tangkapan air sangat diperlukan sebagai dasar pengelolaan berbasis sains.

KESIMPULAN

Kualitas air mata air Uluna secara umum memenuhi baku mutu untuk keperluan higiene dan sanitasi berdasarkan parameter fisik dan kimia. Parameter fisik menunjukkan kondisi air yang jernih, tidak berbau, serta memiliki kandungan zat terlarut yang rendah. Sementara itu, parameter kimia menunjukkan bahwa kandungan logam dan senyawa nitrogen berada di bawah ambang batas yang ditetapkan, serta nilai pH berada dalam kisaran netral. Kondisi ini dipengaruhi oleh faktor geologi dan hidrogeologi wilayah, khususnya keberadaan endapan aluvial yang memiliki porositas dan permeabilitas tinggi, serta posisi mata air dalam sistem cekungan air tanah. Penelitian ini berkontribusi dalam menyediakan data dasar (*baseline data*) kualitas air fisik-kimia mata air Uluna yang belum pernah dipublikasikan sebelumnya, mengintegrasikan analisis kualitas air dengan kerangka sistem hidrogeologi CAT Manado sebagai pendekatan yang masih jarang dilakukan pada skala lokal di Sulawesi Utara, serta mengidentifikasi secara awal keberadaan

kromium terlarut yang mengimplikasikan perlunya kajian spesiasi lebih lanjut. Meski demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu diakui, di antaranya pengambilan sampel yang hanya dilakukan pada satu titik dan satu waktu sehingga belum mencerminkan variabilitas temporal maupun spasial, belum diujinya parameter mikrobiologi yang relevan mengingat fungsi mata air sebagai lokasi aktivitas masyarakat, tidak dilakukannya spesiasi kromium sehingga penilaian risiko kesehatan bersifat terbatas, serta belum diukurnya data debit aliran sehingga neraca air dalam sistem CAT belum dapat dievaluasi secara menyeluruh.

SARAN

Bagi akademisi pemeriksaan kualitas air perlu dilakukan secara rutin, tidak hanya pada parameter fisik dan kimia, tetapi juga parameter mikrobiologi mengingat potensi kontaminasi dari aktivitas manusia di sekitar mata air. Kajian lanjutan oleh tim peneliti dan perguruan tinggi terkait perlu mencakup pemantauan berkala minimal dua kali per tahun pada musim hujan dan kemarau, uji parameter mikrobiologi (*total coliform* dan *E. coli*), analisis spesiasi kromium (Cr^{3+} dan Cr^{6+}) untuk penilaian risiko kesehatan yang lebih akurat, serta pengukuran debit mata air guna mendukung analisis neraca air dan gambaran yang lebih komprehensif tentang sistem hidrogeologi CAT Manado, khususnya terkait daerah imbuhan dan lepasan air tanah.

Bagi pemerintah daerah, pemerintah kabupaten Minahasa melalui Dinas PUPR dan Dinas Lingkungan Hidup perlu menetapkan zona perlindungan mata air (*spring protection zone*) dengan radius minimal 50–100 meter dari titik keluaran air sesuai amanat PP No. 22 Tahun 2021, yang mencakup larangan aktivitas berpotensi pencemar seperti pembuangan limbah, penggunaan pestisida, dan pembangunan tanpa izin. Dinas Kesehatan kabupaten Minahasa juga perlu melakukan sosialisasi kepada masyarakat pengguna mata air Uluna mengenai hasil uji kualitas air dan potensi risiko kontaminasi, sekaligus mengembangkan sistem pemantauan sederhana berbasis partisipasi masyarakat (*community-based monitoring*). Selain itu, pengelola wisata dan masyarakat setempat perlu menyusun tata tertib penggunaan area mata air yang membatasi aktivitas kontak langsung dengan sumber air pada jarak tertentu dari titik

keluaran, disertai penyediaan fasilitas sanitasi yang memadai di area wisata.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Hamaiedeh, H., Al-Rfo'u, F., Al-Hamaideh, K. D., El-Hasan, T., & Alakayleh, Z. 2023. Springs Water Quality Assessment for Drinking Purposes: A Case Study of Bsaira, Jordan. *Iraqi Geological Journal*, 56(2), 48–56. <https://doi.org/10.46717/igi.56.2A.4ms-2023-7-13>
- Alitane, A., Essahlaoui, A., Yimer, E. A., Ousmana, H., Essahlaoui, N., Oumou, A., Hmaidi, A. El, Benyoussef, S., & Van Griensven, A. 2024. Hydrogeochemical characterization and statistical approach to assess the quality of the spring water in the Meknes-El Hajeb region, Morocco. *Modeling Earth Systems and Environment*, 10(5), 6293–6308. <https://doi.org/10.1007/s40808-024-02109-w>
- Astuti, R. D. P., Mallongi, A., Amiruddin, R., Hatta, M., & Rauf, A. U. 2023. Hexavalent chromium contamination in groundwater and its implication to human health: a Monte Carlo model approach in Indonesia. *Sustainable Water Resources Management*, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00806-x>
- Chaudhari, M. P., Ali, G., Rajpurohit, D., Pandya, A., & Syed, S. 2026. Integrated hydrochemical assessment and water quality evaluation of the Sabarmati River in a metropolitan region of western India. *Cleaner Water*, 6(November 2025), 100258. <https://doi.org/10.1016/j.clwat.2026.100258>
- Dao, T. V. H., Tran, C. S., Tran, P. Y. N., Huynh, K. P. H., Bui, X. T., Hoang, Q. H., Pham, N. H., & Vo, T. K. Q. 2026. Assessment of water quality in the main canal systems in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 13(March), 101374. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2026.101374>
- Effendi, A. ., & Bawono, S. . 1990. *Peta Geologi Lembar Manado, Sulawesi Utara*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

- Georgaki, M. N., Charalambous, M., Kazakis, N., Talias, M. A., Georgakis, C., Papamitsou, T., & Mytilaki, C. 2023. Chromium in Water and Carcinogenic Human Health Risk. *Environments - MDPI*, 10(2), 1–27. <https://doi.org/10.3390/environments10020033>
- Guagliardi, I., Perna, L., Caloiero, T., & Infusino, E. 2026. Hydrogeochemical assessment and spring water quality modelling along the Upper, Middle, and Lower Tyrrhenian Coast of the Calabria region, southern Italy. *Environmental and Sustainability Indicators*, 29(August 2025), 101079. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.101079>
- Hendrayana, H., Riyanto, I. A., Ismayuni, N., Nuha, A., Muhammad, A. S., & Fadillah, A. 2024. Groundwater quality assessment in different volcanic rocks using water quality index in the tropical area, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 11(4), 6225–6235. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2024.114.6225>
- Hendrayana, H., Riyanto, I. A., & Nuha, A. 2023. River water quality variability in the young volcanic areas in Java, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 10(3), 4467–4478. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2023.103.4467>
- Hersch, R. W. 2012. Water quality for drinking: WHO guidelines. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, 876–883. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6_184
- Iqlima, M. A., Putri, A. R., Hanum, F., & Dwi, A. A. 2020. Analisis Kualitas Air pada Sumber Mata Air di Kelurahan Kandri Kecamatan Gunungpati Kota Semarang. 784–790.
- Irawan, D. E., & Puradimaja, D. J. 2020. *Hidrogeologi Umum*. Penerbit Ombak.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2023. *Peraturan Menteri Kesehatan* Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Persyaratan Kualitas Air.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2017. *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2017 tentang Cekungan Air Tanah*.
- Kindeke, T. N., Nienie, A. B., Mulaji, C., Poté, J. W., & Sivalingam, P. 2026. Microbiological and physicochemical analysis of spring drinking-water from the municipality of Lukemi, Kikwit City, Democratic Republic of the Congo. *Scientific African*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2026.e03266>
- Li, P., & Wu, J. 2019. Drinking Water Quality and Public Health. *Exposure and Health*, 11(2), 73–79. <https://doi.org/10.1007/s12403-019-00299-8>
- Natarajan, T., Inoue, K., Fukushima, M., Arae, H., Veerasamy, N., Sakr, S., Joshi, A., Ramola, R. C., & Sahoo, S. K. 2026. Hydrogeochemical assessment of rare earth elements and uranium for groundwater sustainability in Himalaya Spring waters of the Garhwal region. *Physics and Chemistry of the Earth*, 143(January), 104389. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2026.104389>
- Pemerintah Republik Indonesia. 2021. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- Purnama, S. 2016. *Hidrologi Air Tanah*. Penerbit PT. Kanisius.
- Razi, M. H., Maria, R., & Nugraha, W. C. 2026. Seasonal hydrogeochemical dynamics and associated health risks of spring water quality for drinking and irrigation purposes in tropical volcanic regions: a case study from the southern slope of Mt. Merapi, Indonesia. *Environmental Geochemistry and Health*, 48(3), 1–25. <https://doi.org/10.1007/s10653-026-03010-4>
- Riyanto, I. A., & Cahyadi, A. 2023.

- Anthropogenic activity effect on water quality of epikarst spring in the western part of Gunungsewu Karst Area, Java Island, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 11(1), 4899–4908. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2023.111.4899>
- Rompas, F. K., Lobja, X. E., & Rifani, I. 2023. Analisis SWOT dan Strategi Agresif Pengembangan Wisata Pemandian Alam Uluna Kabupaten Minahasa. *GEOGRAPHIA: Jurnal Pendidikan dan Penelitian Geografi*, 4(2), 112-23. <https://doi.org/10.53682/gjppg.v4i2.5409>
- Sulaiman, M. A. M., Al-Hussein, A. A. M., & Saleh, A. S. 2020. A study of spring water quality and its suitability for different uses in the area of Bartella – Eastern Mosul. *EUREKA, Physics and Engineering*, 2020(3), 87–96. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001257>
- Todd, D. . 1980. *Groundwater Hydrology.pdf*. John Willey and Sons, Inc.
- Winqvist, F., Olsson, J., & Eriksson, M. 2011. Multicomponent analysis of drinking water by a voltammetric electronic tongue. *Analytica Chimica Acta*, 683(2), 192–197. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.10.027>
- Zeffitni. 2011. Identifikasi Batas Lateral Cekungan Airtanah (CAT) Palu. *SMARTek*, 9(4), 337–349.