

Kualitas Air Dan Hidrogeokimia Mata Air Di Lereng Selatan Gunungapi Merbabu

Sonna Diwijaya^{1*}, Ahmad Cahyadi¹, Mohammad Pramono Hadi²

¹Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Jalan Kaliurang Km 4,5, Bulaksumur, Depok, Sleman, D.I. Yogyakarta 55281

²Pusat Studi Lingkungan Hidup, Universitas Gadjah Mada, Kompleks Gedung PSLH-EFSD UGM, Jl. Kuningan, Caturtunggal, Depok, Sleman, D.I. Yogyakarta 55281

*E-mail: sonna.diwijaya@mail.ugm.ac.id

Received: 05 10 2023 / Accepted: 26 12 2023 / Published online: 30 01 2024

ABSTRAK

Mata air di lereng selatan Gunungapi Merbabu memiliki peranan yang besar dalam penyediaan air bersih bagi masyarakat di Kecamatan Selo, Kabupaten Boyolali. Penelitian ini bertujuan untuk; (1) menganalisis kualitas air pada mata air di lereng Selatan Gunungapi Merbabu, dan (2) menganalisis karakteristik hidrogeokimia air pada mata air di lereng selatan Gunungapi Merbabu. Penelitian ini dilakukan di Lereng Selatan Gunung Merbabu dengan mengambil 4 sampel mata air, 2 sampel air hujan, dan satu sampel air sungai. Penentuan titik pengambilan sampel mata air berdasarkan sensus berdasarkan data dari Balai Taman Nasional Gunung Merbabu, wawancara penduduk lokal, dan penelitian terdahulu. Analisis kualitas air dilakukan dengan metode *matching* terhadap baku mutu air minum Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, Todd dan Mays (2005), dan *Guidline for Drinking Water World Health Organization 2022*. Analisis hidrogeokimia dilakukan dengan analisis ion mayor dominan menggunakan Schoeller Diagram, analisis tipe kimia dan proses hidrogeokimia yang dominan dengan diagram piper, serta analisis perbandingan ion untuk menentukan proses-proses yang mempengaruhi kondisi hidrogeokimia mata air termasuk sumber pencemaran. Hasil analisis menunjukkan bahwa kualitas air di lokasi kajian dalam kondisi baik. Meskipun semua parameter tidak ada yang melebihi baku mutu, tetapi indikasi terjadinya pencemaran telah teridentifikasi. Selain itu, karakteristik hidrogeokimia dari parameter DHL, TDS dan suhu, serta tipe kimia HCO_3^- - Ca^{2+} - Mg^{2+} menunjukkan bahwa mata air disuplai dari air tanah pada akuifer dangkal dan lokal dengan proses utama pengayaan mineral pada zona lengas tanah.

Kata Kunci: Hidrogeokimia, Kualitas Air, Gunungapi Merbabu, Mata Air

ABSTRACT

The springs on the southern slopes of Merbabu Volcano have a major role in providing clean water for the community in Selo Subdistrict, Boyolali Regency. This study aims to; (1) analyze the water quality of springs on the southern slope of Merbabu Volcano, and (2) analyze the hydrogeochemical characteristics of water in springs on the southern slope of Merbabu Volcano. This research was conducted on the southern slope of Merbabu Volcano by taking 4 spring water samples, 2 rainwater samples, and one river water sample. Determination of spring sampling points was based on a census based on data from the Merbabu National Park Office, interviews with local residents, and previous research. Water quality analysis was conducted using the matching method against the drinking water quality standards of Government Regulation No. 22 of 2021, Todd and Mays (2005), and the World Health Organization Guideline for Drinking Water 2022. Hydrogeochemical analysis was conducted by analyzing the dominant major ions using Schoeller diagrams, analyzing the chemical types and dominant hydrogeochemical processes with piper diagrams, and ion comparison analysis to determine the processes affecting the hydrogeochemical conditions of the spring including the source of pollution. The results of

the analysis showed that the water quality at the study area was in good condition. Although none of the parameters exceeded the quality standards, indications of pollution were identified. In addition, the hydrogeochemical characteristics of the parameters DHL, TDS and temperature, as well as the chemical type $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}_2^+ - \text{Mg}_2^+$ indicate that the spring water is supplied from groundwater in shallow and local aquifers with the main process of mineral enrichment in the soil moisture zone.

Keywords: *Hydrogeochemistry, Water Quality, Merbabu Volcano, Spring*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang berada di cincin api dunia atau disebut *ring of fire*. Hal tersebut disebabkan proses penunjaman lempeng atau subduksi lempeng yang menimbulkan karakteristik khas berupa busur kepulauan vulkanik (Lamina, 2015). Salah satu gunungapi yang terletak di Pulau Jawa adalah Gunungapi Merbabu yang terletak di Provinsi Jawa tengah. Gunungapi tersebut merupakan salah satu gunungapi strato tipe B yang terletak di bagian tengah Jawa Tengah dengan ketinggian 3.145 mdpl.

Seperti halnya gunungapi di seluruh dunia, Gunungapi Merbabu secara ekologis memiliki peran sebagai *recharge area* (wilayah imbuhan air) dan *catchment area* air hujan. Hal tersebut juga didukung dengan morfologi kerucut gunungapi yang mendorong terbentuknya hujan orografis (Ashari dan Widodo, 2019), sehingga gunungapi dapat berperan sebagai tower air alamiah. Fungsi sebagai wilayah imbuhan air ini di antaranya ditunjukkan dari terbentuknya sabuk mata air sepanjang tekuk lereng yang disebut *spring belt* (Santosa, 2006). Lebih lanjut lagi, Irawan *et al.*, (2009) menyebutkan bahwa endapan vulkanik gunungapi akan menghasilkan fenomena *spring belt* sebagai bentuk akuifer yang produktif dengan kualitas air yang sangat baik. Kondisi ini di antaranya juga dapat dilihat dari kemunculan beberapa mata air di lereng selatan Gunungapi Merbabu.

Mata air merupakan air tanah yang muncul secara alamiah dan memusat pada suatu titik ke permukaan Bumi (Hendrayana, 2013). Mata air yang muncul

pada Gunungapi dapat dijumpai pada batuan vulkanik, seperti endapan lahar, endapan piroklastik, breksi, dan lava. Selain itu, Irawan *and* Puradimaja (2006) menyatakan bahwa faktor kemunculan mata air pada gunungapi dipengaruhi oleh jenis batuan dan distribusinya, morfologi gunungapi (lembah dan igir, tekuk lereng dan morfoaransemen), sistem rekahan pada aliran lava, proses struktural yang mengerjainya (misalnya patahan) dan proses pelapukan yang terjadi pada batuan gunungapi. Faktor-faktor tersebut akan sangat berpengaruh terhadap karakteristik mata air, di antaranya terkait dengan debit air yang dikeluarkan, kontinuitas aliran, serta kondisi hidrogeokimia dan kualitas air pada mata air (Fadillah *et al.*, 2023).

Beberapa penelitian terkait dengan mata air di Gunungapi Merbabu telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu. Misalnya penelitan tentang hidrogeomorfologi mata air dan potensinya pada lereng barat daya Gunungapi Merbabu (Ashari dan Widodo, 2019), karakteristik mata air sebagian Taman Nasional Gunung Merbabu (Putri dan Purnama, 2015), dan hidrogeomorfologi Celah Selo yang juga meliputi lereng selatan Gunungapi Merbabu (Wardoyo dan Khotimah, 2021). Penelitian Ashari dan Widodo (2019) serta Wardoyo dan Khotimah (2021) terfokus pada tinjauan geomorfologis terhadap kemunculan mata air di Gunungapi Merbabu, sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Putri dan Purnama (2015) lebih fokus pada kajian parameter debit mata air. Berdasarkan hal tersebut, diketahui bahwa masih banyak aspek yang

belum dikaji terkait dengan karakteristik mata air di Gunungapi Merbabu, di antaranya kajian terkait dengan karakteristik hidrogeokimia dan kualitas air.

Penelitian terkait dengan karakteristik hidrogeokimia dan kualitas air pada Lereng Selatan Gunungapi Merbabu sangatlah penting mengingat hampir semua penduduk mencukupi kebutuhan air bersihnya dari mata air. Di sisi yang lain, dalam sepuluh tahun terakhir jumlah penduduk Kecamatan Selo yang berada di Lereng Selatan Gunungapi Merbabu mengalami kenaikan jumlah penduduk. Jumlah penduduk Kecamatan Selo pada tahun 2012 hingga tahun 2022 naik dari 27.092 jiwa menjadi 30.260 jiwa (BPS, 2012; 2022). Berdasarkan hal tersebut, kajian hidrogeokimia dan kualitas air menjadi sangat penting untuk menjamin tersedianya air bersih yang aman dan memenuhi baku mutu, serta dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk pengelolaan mata air yang berkelanjutan di masa mendatang. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi pendahuluan tentang karakteristik kualitas air dan hidrogeokimia pada mata air di lereng selatan Gunungapi Merbabu.

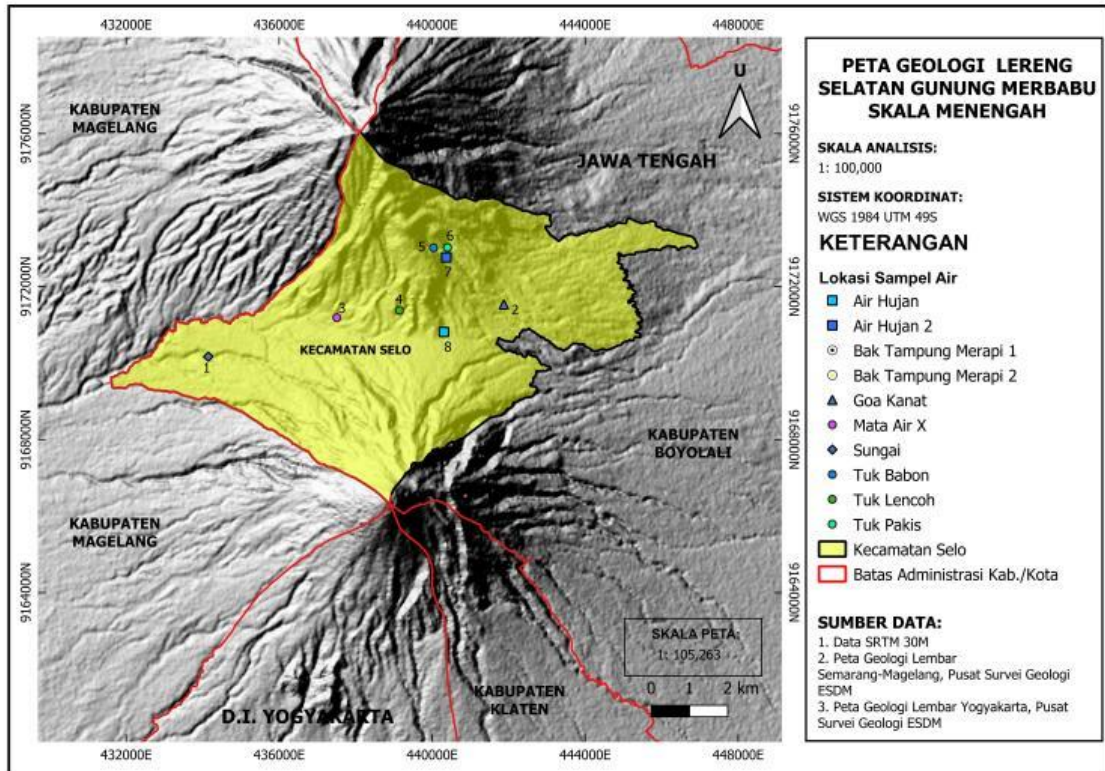
METODE PENELITIAN

Lokasi kajian penelitian ini meliputi lereng selatan Gunungapi Merbabu (Gambar 1). Secara administratif, lereng selatan Gunungapi Merbabu berada di Kecamatan Selo, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah. Gunungapi Merbabu terbentuk dari bukaan sesar berorientasi barat laut-tenggara (N 170 E) dengan tubuh gunungapi yang didominasi oleh material berupa perselingan lava basalt olivine, lava

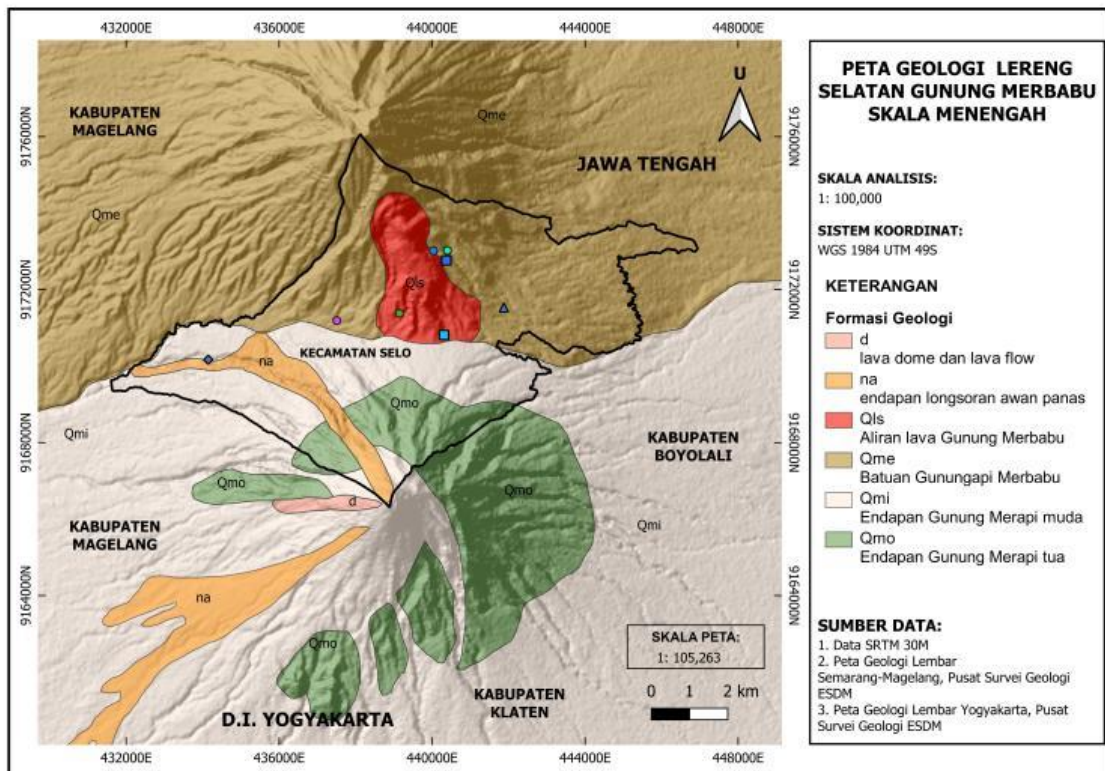
basalt piroksen, dan breksi andesit (Mulyaningsih dkk., 2016). Selain itu, tubuh Gunungapi Merbabu tersusun dari batuan piroklastik hasil endapan jatuhnya berupa batu apung (*scoria*) dan litik andesit yang terkonsolidasi pada ukuran abu-lapilli (Arnis dkk., 2017). Lokasi penelitian berada pada formasi Qme yang berupa batuan Gunungapi Merbabu, sedangkan Qls berupa aliran lava atau *lava flow* dari Gunungapi Merbabu (Gambar 2).

Kondisi meteorologis lereng selatan Gunungapi Merbabu sangat dipengaruhi oleh kondisi topografis berupa cekungan antar gunungapi. Data BPS (2022) menunjukkan curah hujan Kecamatan Selo berkisar 2.239 mm/tahun. Pola hujan monsunial, sebagai bagian dari Pulau Jawa yang merupakan pusat monsun di Indonesia (Cahyadi *et al.*, 2021). Penggunaan lahan di lereng Selatan Gunungapi Merbabu didominasi hutan negara pada lereng atas, serta lahan pertanian dan permukiman pada lereng tengah dan bawah.

Penelitian ini fokus pada 4 mata air di lereng selatan Gunungapi Merbabu. Mata air tersebut meliputi Tuk Babon, Tuk Pakis, Tuk Lencoh, dan mata air tanpa nama (X). Pengambilan sampel dilakukan pada empat sampel mata air, dua sampel air hujan, satu sampel air Gua Kanat, dan satu sampel air sungai (Tabel 1). Sampel air Gua Kanat diambil untuk mewakili kondisi hidrogeokimia air tanah. Sampel air hujan diambil dari hujan di Alun-alun Selo dan jalur pendakian Gunungapi Merbabu untuk mengetahui *natural background* dari mata air, sedangkan sampel air sungai diambil untuk mengetahui proses penambahan mineral di dalam air tanah hingga akhirnya keluar menjadi air permukaan.



Gambar 1. Peta Lokasi Kajian



Gambar 2. Peta Geologi Lokasi Kajian dan Sekitarnya

Tabel 1. Lokasi Pengambilan Sampel di Lereng Selatan Gunungapi Merbabu

No.	Nama	Koordinat (m)		Elevasi (mdpl)
		X	Y	
1	Sungai	434127	9170155	1.084
2	Air Kanat	441875	9171535	1.405
3	Mata air tanpa nama (X)	437504	9171188	1.474
4	Tuk Lencoh	439143	9171377	1.836
5	Tuk Babon	440034	9173017	1.858
6	Tuk Pakis	440401	9173024	1.891
7	Air Hujan di Jalur Pendakian Gunungapi Merbabu	440382	9172738	1.619
8	Air Hujan Alun-Alun Selo	440307	9170811	1.563

Sumber: Hasil Survei Lapangan (2023)

Pengambilan sampel air dilakukan pada musim penghujan tanggal 30-31 Januari 2023. Penentuan lokasi sampling mataair dengan sensus terhadap data mata air yang diperoleh dari Balai Taman Nasional Gunung Merbabu, masyarakat lokal di lokasi penelitian, dan studi terdahulu yang dilakukan oleh peneliti lain. Terdapat empat titik lokasi mata air yang diambil sampel airnya, yaitu mata air Tuk Babon, Tuk Pakis, Tuk Lencoh, dan mataair tanpa nama. Kemudian, dua titik lokasi pengambilan sampel air hujan dilakukan di Alun-alun Kecamatan Selo dan pintu masuk Taman Nasional Gunung Merapi. Sampel air sungai diambil di Sabo DAM ujung barat Kecamatan Selo.

Alat yang digunakan untuk pengukuran langsung di lapangan yaitu, *alkalinity test kit* dan *water quality test kit*. *Alkalinity test kit* digunakan untuk menguji kadar ion bikarbonat (HCO_3^-) dalam air dengan metode titrasi di lapangan. Hal ini karena sifat bikarbonat yang mudah berubah, sehingga harus dilakukan analisis di lapangan (Cahyadi *et al.*, 2022). *Water quality test kit* digunakan untuk mengukur beberapa parameter meliputi pH (derajat keasaman), daya hantar listrik (DHL), *total dissolved solids* (TDS), dan suhu. Sampel air diambil dengan botol sampel dengan bahan polietilen volume 1 liter sebagai wadah saat akan diuji di Laboratorium Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BBTKLPP) Yogyakarta. Parameter yang diuji di laboratorium meliputi ion mayor berupa

Kalsium (Ca^{2+}), Natrium (Na^+), Magnesium (Mg^{2+}), Kalium (K^+), Sulfat (SO_4^-), dan Klorida (Cl^-), sedangkan ion minor berupa Nitrat (NO_3^-), Besi (Fe) dan Fosfat (PO_4^-). Pengujian parameter Besi hanya dilakukan pada sampel mata air dan air sungai. Metode analisis di laboratorium secara rinci disajikan dalam Tabel 2.

Analisis kualitas air dilakukan dengan melakukan *matching* dengan baku mutu air untuk air baku air minum. Baku mutu air yang digunakan dalam penelitian ini adalah Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 yang merupakan peraturan terbaru (Adji *et al.*, 2023). Beberapa parameter yang tidak diatur dalam peraturan tersebut seperti Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , dan HCO_3^- selanjutnya dibandingkan dengan baku mutu yang dibuat oleh Todd and Mays (2005) dan *The World Health Organization* (WHO).

Analisis ion dominan pada sampel yang dianalisis dilakukan dengan diagram Schoeller berdasarkan pada pola garis yang dibentuk oleh kandungan unsur mayor pada satuan meq/l. Selain itu, data hidrogeokimia diolah menggunakan *software Grapher* untuk *plotting* anion dan kation pada diagram piper. Analisis pada diagram piper menghasilkan dua hasil yakni tipe kimia air tanah dan proses dominan yang terjadi pada air tanah pada mata air yang dikaji.

Analisis *scatter plot diagram* (analisis *bivariate*) digunakan untuk mengetahui korelasi dua parameter, baik berupa satu unsur atau penjumlahan dan

atau pengurangan unsur dengan unsur atau molekul yang lain. Perbandingan kation dan anion pada diagram *Scatter Plot* dilakukan dengan parameter Na^+ vs $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^-$ dan Na^+ vs Cl^- (Hoaghia *et al.*, 2021). Konsep perbandingan ion pada diagram *scatter plot* disajikan pada Tabel 3. Selanjutnya, data diolah menjadi diagram Gibbs dengan parameter ion Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , dan TDS (Cahyadi *et al.*, 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Air pada Mataair di Lereng Selatan Gunungapi Merbabu

Hasil pengukuran lapangan tersaji pada Tabel 4. dengan parameter pengukuran berupa pH, DHL, dan TDS. Nilai parameter DHL dan TDS mata air. Menunjukkan tidak melebihi baku mutu. Menurut Hiscock and Bense (2014), nilai tersebut masuk dalam klasifikasi air tawar. Selain itu, nilai DHL dan TDS mata air yang kecil disebabkan interaksi air tanah dengan batuan cenderung singkat, sehingga kandungan ion terlarut relatif

rendah. Nilai DHL dan TDS mata air yang tidak jauh dengan nilai pada air sungai mengindikasikan bahwa air sungai juga diimbuh oleh sumber yang sama, yakni air tanah dangkal dengan akuifer yang lokal. Hal ini menyebabkan interaksi air yang meresap dan batuan berlangsung singkat. Lokasi sungai yang terletak pada baranco dengan lembah yang dalam menyebabkan muka air tanah terpotong oleh topografi. Hal ini menyebabkan air tanah mengalir ke sungai dalam bentuk aliran *effluent*.

Nilai pH dari 4 mata air yang dikaji dalam penelitian ini menunjukkan nilai berkisar antara 6,70 – 7,05. Nilai tersebut cenderung mendekati nilai pH netral, yaitu 7. Hal tersebut menunjukkan mata air tidak mengalami pencemaran logam. Menurut Saalidong *et al.*, (2022) nilai pH yang rendah memiliki kelarutan logam yang tinggi, sedangkan pH yang tinggi logam berat cenderung mengendap. Nilai pH asam ditunjukkan pada kelas nilai di bawah 7,0, sedangkan basa ditunjukkan pada nilai lebih dari 7,0. (Boyd, 2020).

Tabel 2. Metode Analisis Laboratorium yang Digunakan untuk Masing-masing Parameter

No	Parameter	Satuan	Metode
1	Na^+	mg/L	APHA 2017, Section 3500-Na
2	K^+	mg/L	APHA 2017, Section 3500-K
3	Ca^{2+}	mg/L	SNI 06-69889.12-2004
4	Mg^{2+}	mg/L	SNI 06-6989.12-2004
5	Cl^-	mg/L	SNI 6989.19-2019
6	SO_4^-	mg/L	SNI 6989.20-2019
7	NO_3^-	mg/L	APHA 2017, Section 4500- NO_3B
8	PO_4^-	mg/L	APHA 2017, Section 4500 P-D
9	Fe	mg/L	SNI 6989.84-2019

Tabel 3. Metode Analisis *Bivariate* yang Digunakan

No.	Nilai perbandingan	Parameter	
		Na^+ vs $\text{Cl}^- - \text{SO}_4$	Na^+ vs Cl^-
1	Kurang dari 1:1	Pelarutan Halit (NaCl) dan Natrium Sulfat (Na_2SO_4) sumber utama ion mayor	Input zat tercemar dari aktivitas antropogenik
2	Sama dengan 1:1 atau yang mendekati	Hasil pelarutan Halit (NaCl) dan Natrium Sulfat (Na_2SO_4)	Hasil pelarutan Halit (NaCl)
3	Lebih dari 1:1	Pelarutan Halit (NaCl) dan Natrium Sulfat (Na_2SO_4) bukan sumber utama ion mayor	Pertukaran kation atau pelarutan mineral silika (SiO_2)

No.	Nilai perbandingan	Parameter	
		Na ⁺ vs Cl ⁻ - SO ₄	Na ⁺ vs Cl ⁻
4	NO ₃ ⁻ dibandingkan dengan Cl ⁻	Nilai perbandingan 8:1	menunjukkan Nitrat berasal dari pencemaran antropogenik
5	Total anion - SO ₄ ²⁻ dibandingkan SO ₄ ²⁻	Korelasi R ² lebih dari 0,6	menunjukkan penambahan sulfat berasal dari interaksi dengan batuan

Sumber: Hoaghia *et al.* (2021) dan Adji *et al.* (2023)

Tabel 4. Hasil Pengukuran Lapangan Parameter Suhu, pH, DHL dan TDS

No	Lokasi	Suhu Udara (°C)	Suhu Air (°C)	pH	DHL (μ siemen/cm)	TDS (mg/L)
1	Sungai	27	23,1	7,40	200	100
2	Mata air tanpa nama (X)	23,7	20,3	6,95	200	70
3	Gua Kanat	24,5	20	7,12	140	100
4	Air hujan jalur pendakian Selo	17	17,3	7,70	10	10
5	Tuk Pakis	17,2	16,7	6,75	70	40
6	Tuk Babon	17,6	15,5	7,05	80	30
7	Tuk Lencoh	18	18,1	6,9	80	40
8	Air hujan alun-alun Selo	17,4	16,9	6,68	10	10
Todd dan Mays (2005)		-	-	-	1000	-
PP No. 22 Tahun 2021		-	-	6-9	-	1000
WHO		-	-	-	-	-

Sumber: Hasil Pengukuran Lapangan (2023)

Hasil pengukuran suhu udara dan suhu air pada mata air menunjukkan bahwa suhu air pada mata air memiliki nilai yang hampir sama atau tidak terpaut jauh dengan suhu udara saat dilakukan pengambilan sampel air. Menurut Hendrayana (2013) mata air yang memiliki suhu yang sama dengan rata-rata suhu udara sekitar disebut sebagai mata air dingin atau normal. Hal tersebut menunjukkan mata air yang ada di lokasi penelitian tidak mengalami proses pemanasan oleh aktivitas magma Gunungapi Merbabu. Berdasarkan hasil analisis *bivariate* menunjukkan bahwa korelasi suhu air dan suhu udara mendekati nilai 1 (Gambar 3). Hal tersebut memberikan keterangan bahwa suhu air pada sampel air lokasi penelitian berkaitan dengan suhu udara sekitar dan memiliki

sumber yang dangkal dan lokal. Hasil tersebut juga mengkonfirmasi hasil pengukuran DHL dan TDS sebelumnya.

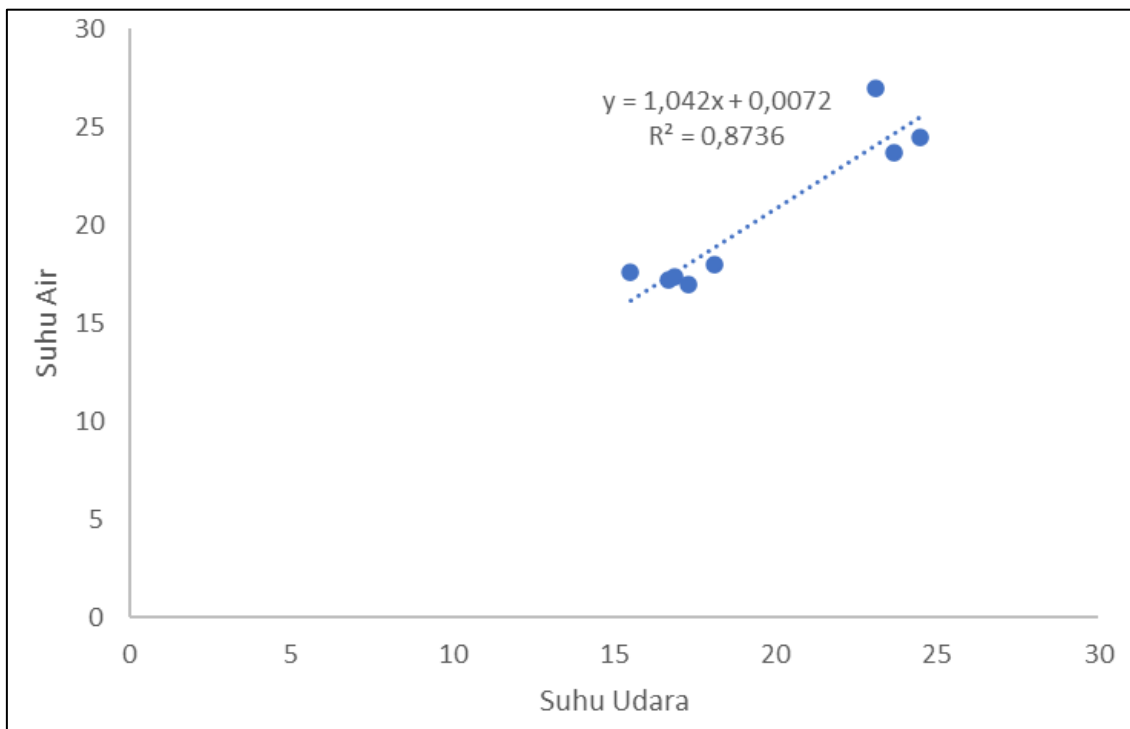
Hasil analisis laboratorium ditunjukkan pada Tabel 5. Hasil analisis menunjukkan keseluruhan parameter pada mata air di lokasi kajian tidak melebihi baku mutu. Namun demikian, sampel air dari sungai memiliki nilai fosfat yang melebihi baku mutu. Nilai fosfat air sungai yang tinggi dapat disebabkan pencemaran dari pupuk kimia pertanian, sabun mandi dan sabun cuci, serta korotan hewan dan manusia (Wakida dan Lerner, 2006). Hal tersebut menunjukkan mata air pada lokasi penelitian belum mengalami pengaruh antropogenik secara signifikan, meskipun ada indikasi dampak dari aktivitas antropogenik pada kualitas air. Hal ini dapat dilihat pada air dari Gua Kanat yang

memiliki nilai fosfat yang relatif tinggi dibandingkan dengan lokasi lainnya. Hal tersebut diduga karena air Gua Kanat mengalami kontaminasi pupuk kimia (Leong *et al.*, 2017) disebabkan berada tepat di bawah lokasi pertanian sayur.

Hasil analisis data pada Tabel 5. menunjukkan bahwa sampel mata air memiliki kandungan unsur mayor dan minor yang rendah. Hal tersebut sekali lagi menguatkan hasil sebelumnya dari analisis PH, TDS dan suhu yang mengindikasikan bahwa mata air bersumber dari akuifer dangkal yang bersifat lokal. Hal tersebut menyebabkan waktu interaksi air dengan

batuan yang singkat pada sistem *recharge* air hujan, sehingga interaksi air-batuan terjadi dalam waktu yang singkat.

Nilai Fe pada mata air dan lokasi yang lain tidak melebihi baku mutu. Namun demikian, jika dibandingkan antar sampel, sampel air Gua Kanat cenderung memiliki nilai Fe yang lebih tinggi dibandingkan lokasi lain. Kandungan Fe pada air tanah secara alamiah berasal dari mineral silikat mafic, seperti *amphibole*, *pyroxene*, *pyrite*, dan *magnetite* (Clark, 2015). Mineral-mineral tersebut banyak terdapat pada batuan gunungapi seperti pada lokasi kajian.



Gambar 3. Scatter Plot Suhu Air dan Suhu Udara di Lokasi Kajian

Hasil analisis diagram Schoeller (Gambar 4) menunjukkan kandungan anion dominan pada mata air adalah HCO_3^- dan kation dominan adalah Ca^{2+} . Tipe air pada mata air lereng selatan Gunungapi Merbabu masuk dalam tipe atau fasies $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$. Kandungan Kalsium dan Magnesium berkaitan dengan kandungan mineral batuan basalt olivine

pada lereng selatan Gunungapi Merbabu. Batuan basalt umumnya didominasi mineral plagioklas dan ferromagnesian yang mudah mengalami pelapukan (Singhal & Gupta, 2010). Anion Bikarbonat disertai data sebelumnya berupa suhu mata air yang normal menunjukkan mata air disuplai dari akuifer dangkal. Hal tersebut dijelaskan melalui

nilai bikarbonat mata air yang sama dengan bikarbonat air hujan, sehingga kemunculan mata air sangat dipengaruhi input air hujan. Hiscock *and* Bense (2014) lebih lanjut menjelaskan bahwa pengayaan Magnesium dan Kalsium pada akuifer

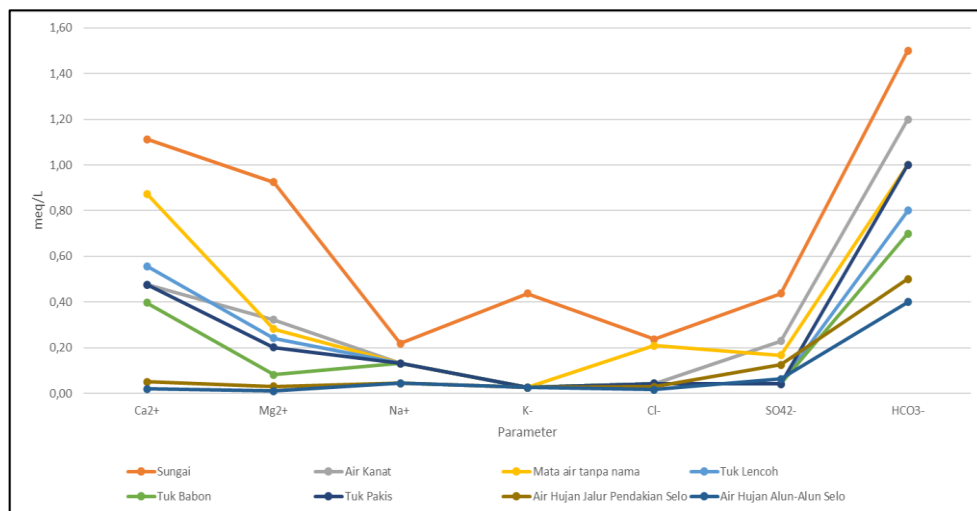
gunungapi umumnya terjadi pada zona lensang tanah, sehingga pengayaan yang terjadi menjadi indikasi proses yang terjadi pada mata air berasal pada akuifer yang dangkal dan lokal.

Tabel 5. Hasil Analisis Unsur Mayor dan Minor di Lokasi Kajian

No	Nama	Parameter (mg/L)									
		Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻	Fe
1	Sungai	22,3	11,1	5,0	1,0	8,4	21,0	91,523	1,74	0,275	0,051
2	Air Kanat	9,6	3,9	3,0	1,0	1,5	11,0	73,219	3,94	0,133	0,073
3	Mata air tanpa nama	17,5	3,4	3,0	1,0	7,4	8,0	61,016	6,89	0,075	0,017
4	Tuk Lencoh	11,1	2,9	3,0	1,0	1,5	2,0	48,812	0,05	0,064	0,017
5	Tuk Babon	8,0	1,0	3,0	1,0	1,5	2,0	42,711	0,17	0,080	0,017
6	Tuk Pakis	9,6	2,4	3,0	1,0	1,5	2,0	61,016	0,21	0,0860	0,017
7	Air Hujan Jalur Pendakian Selo	1,0	0,4	1,0	1,0	1,0	6,0	30,508	0,09	0,050	0,000
8	Air Hujan Alun-Alun Selo	0,4	0,1	1,0	1,0	0,6	3,0	24,406	0,02	0,148	0,000
Todd dan Mays (2005)		200	50	50	100	-	-	500	-	-	-
PP No. 22 Tahun 2021		-	-	-	-	300	300	-	10	0,200	0,300
WHO (2022)		200	-	-	-	-	250	-	50	-	2,000

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium dan Pengukuran Lapangan (2023)

Keterangan: Nilai dicetak tebal menunjukkan melebihi baku mutu

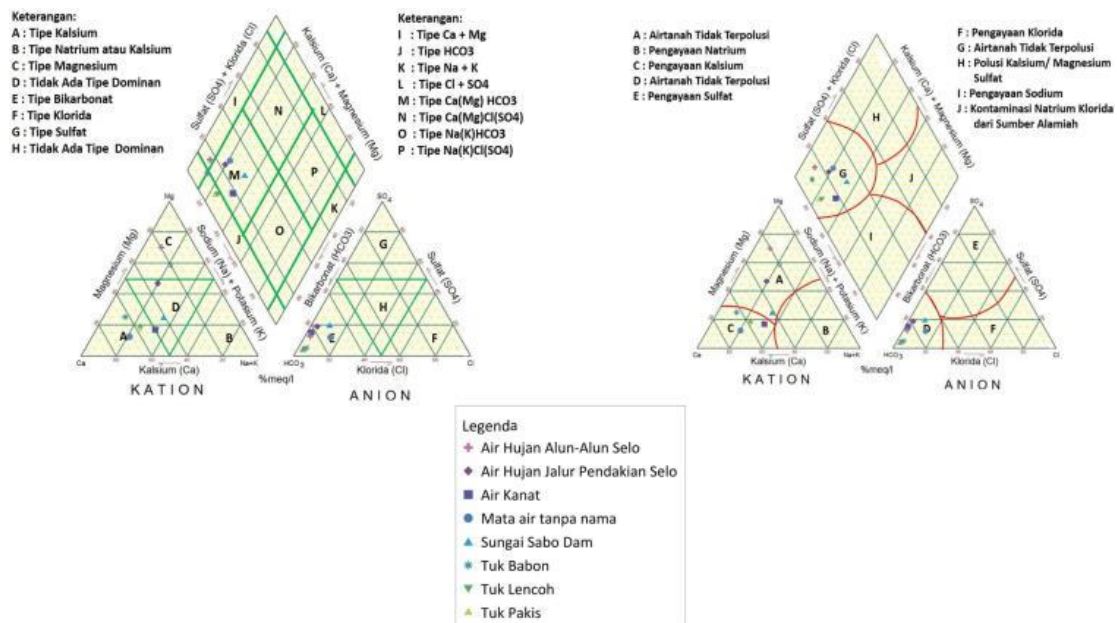


Gambar 4. Diagram Schoeller dari Analisis Hidrogeokimia Sampel Air di Lokasi Kajian

Diagram trilinear atau piper (Gambar 5) menunjukkan tipe hidrogeokimia mata air di lokasi kajian masuk dalam tipe A (tipe Kalsium) pada kation, tipe bikarbonat (tipe E) pada anion, dan secara keseluruhan mata air masuk ke dalam tipe J (tipe HCO_3^-) dan tipe M (tipe $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$). Kandungan Anion Bikarbonat selain karena pengaruh air hujan, juga dapat dipengaruhi dari kandungan CO_2 pada tanah (Fadillah *et al.* 2018). Kemudian, Hasil analisis diagram piper menunjukkan proses dominan yang bekerja pada mata air masuk ke dalam tipe G (tidak terpolusi) dan tipe C (pengayaan Kalsium). Kandungan Kalsium pada mata air berasal dari interaksi air hujan dengan plagioklas batuan (Irawan *et al.*, 2009), serta menunjukkan proses dominan baru terjadi saat air terinfiltrasi masuk ke dalam lensa tanah (Hiscock *and* Bense, 2014).

Diagram piper dan Schoeller menunjukkan adanya proses penambahan kation dan anion dari air hujan, air kanat, mata air dan sungai. Hal tersebut dapat memberikan gambaran proses evolusi

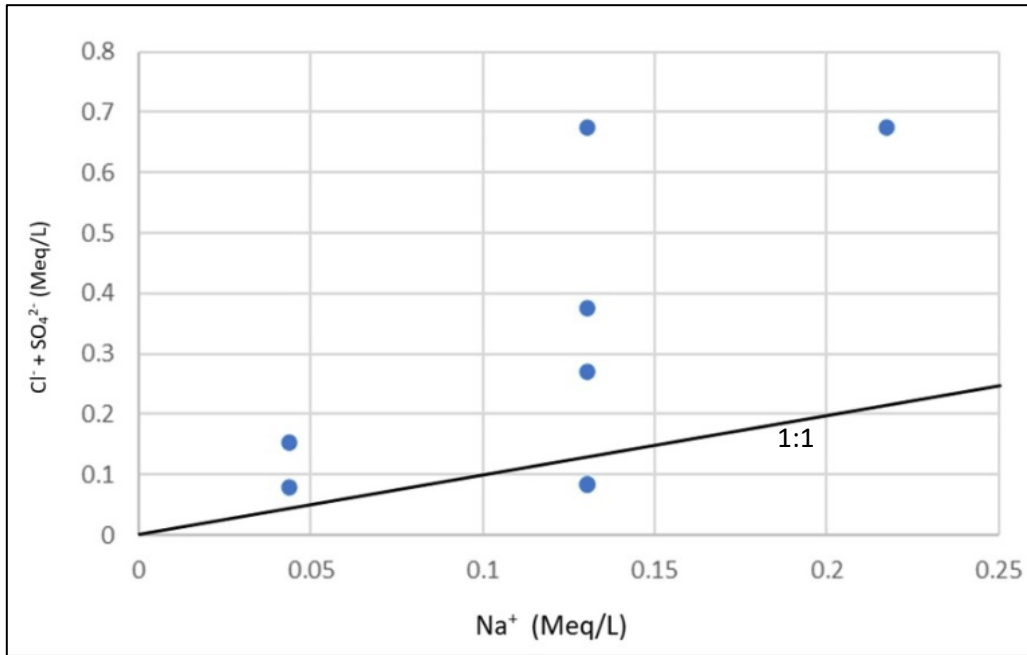
kandungan kation dan anion dari air hujan hingga air sungai. Air hujan memiliki kandungan unsur yang sangat sedikit karena belum mengalami proses pelarutan mineral batuan. Namun demikian, air hujan cenderung membentuk ion Bikarbonat sebagai hasil interaksi antara air hujan dengan gas CO_2 di udara maupun tanah. Selanjutnya, mata air dan air Gua Kanat mengalami penambahan unsur terlarut karena sudah mengalami proses penambahan ion terlarut hasil interaksi air dengan batuan. Air sungai pada lokasi penelitian memiliki kandungan unsur terlarut lebih banyak dibandingkan mata air dan air Gua Kanat. Hal tersebut ditinjau dari air sungai sebagai lokasi berkumpulnya air permukaan dan aliran air tanah melalui mataair dan rembesan (*seepage*), sehingga kandungan unsur terlarut pada air sungai menjadi tinggi. Proses pencemaran aliran permukaan juga lebih mudah terjadi, sehingga kandungan unsurnya menjadi lebih mudah mengalami perubahan atau penambahan unsur.



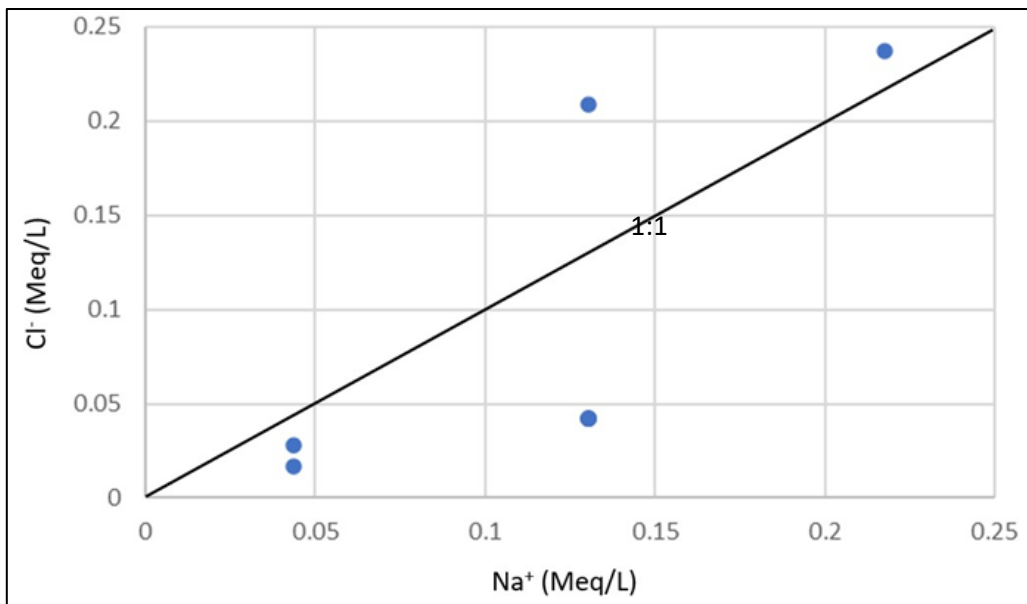
Gambar 5. Diagram Piper Sampel Air di Lokasi Kajian yang Menunjukkan Tipe Kimia dan Proses Hidrogeokimia Dominan yang Terjadi

Hasil analisis dengan *scatter plot* pada Gambar 6 menunjukkan perbandingan Na^+ dengan $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ menunjukkan hasil yang didominasi oleh nilai lebih dari 1:1. Hal tersebut menunjukkan kandungan Natrium dan Klorida dalam sampel mata air bukan berasal dari pelarutan mineral halit

maupun natrium sulfat. Kemudian, analisis tersebut juga didukung dengan perbandingan ion Na^+ dengan Cl^- menunjukkan hasil nilai dominan berada di bawah 1:1 (Gambar 7). Hal tersebut mengindikasikan sampel air pada lokasi penelitian terjadi proses pertukaran kation (Zhang *et al.*, 2020; Hoaghia *et al.*, 2021).



Gambar 6. Perbandingan Na^+ dengan $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ dari Sampel Air di Lokasi Kajian



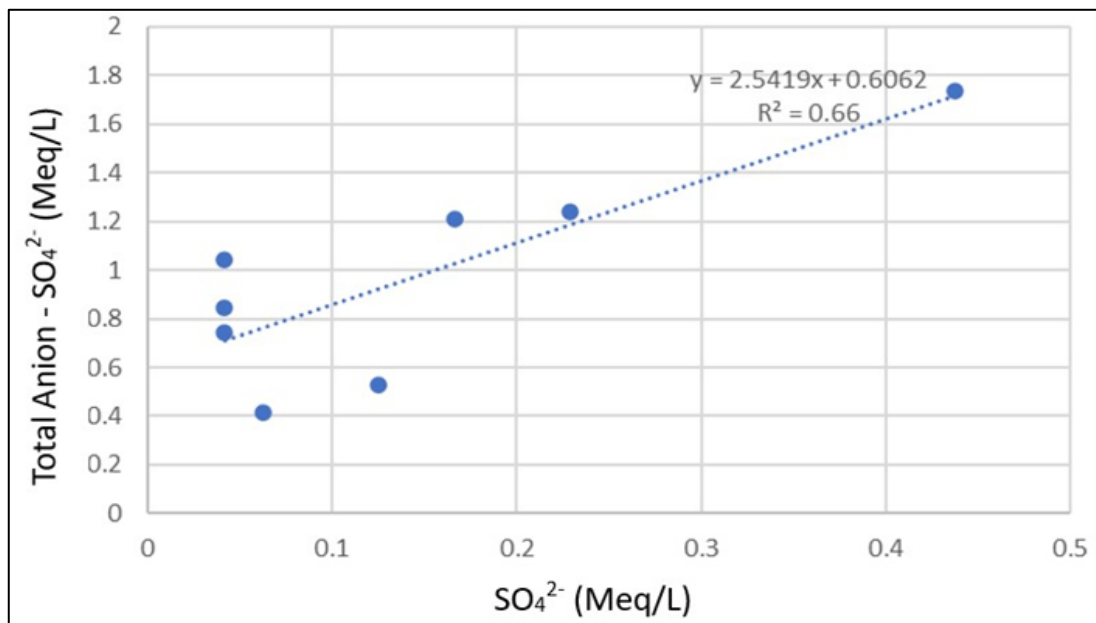
Gambar 7. Perbandingan Na^+ dengan Cl^- dari Sampel Air di Lokasi Kajian

Nilai Natrium berbanding Klorida yang melebihi 1:1 disebabkan adanya pengaruh antropogenik pada sampel air yang ditunjukkan pada sampel air Gua Kanat dan mata air X (Hoaghia *et al.*, 2021). Klorida dalam air tanah yang tidak mendapatkan pengaruh dari intrusi air laut bersumber dari tinja, sabun, pupuk kimia, pemutih, pakaian, dan kotoran hewan termasuk pupuk kandang (Adji dkk., 2023). Meskipun terdapat indikasi pencemaran dari aktivitas antropogenik, secara keseluruhan sampel air memiliki nilai Klorida yang sesuai dengan baku mutu.

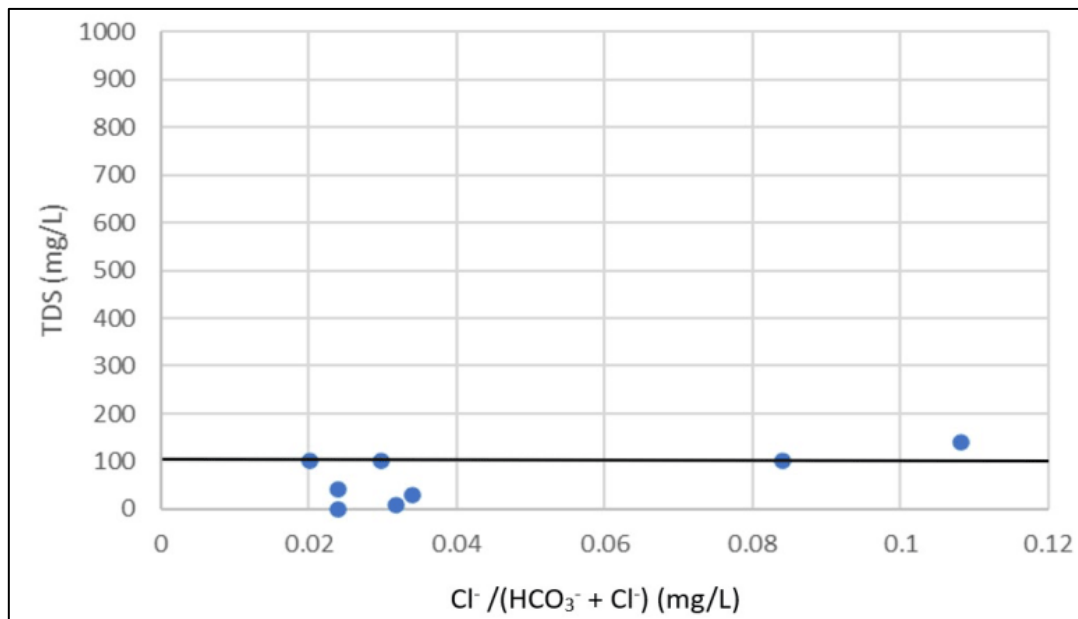
Gambar 8 menunjukkan hubungan antara parameter SO_4^{2-} dengan Total Anion – SO_4^{2-} . Nilai R^2 menunjukkan penambahan sulfat pada sampel air lokasi penelitian secara garis besar terkait dengan proses interaksi dengan sulfat di bawah tanah (Adji dkk., 2023). Sulfat pada air tanah terbentuk akibat oksidasi gas hidrogen sulfida (Aribowo & Nurohman, 2012). Namun demikian, mata air yang

berada di sekitar penggunaan lahan pertanian masih dimungkinkan mendapatkan kontaminasi Sulfat dari pupuk yang berasal dari masifnya pemanfaatan pupuk untuk pertanian (Jiang *et al.*, 2008) di lereng selatan Gunungapi Merbabu.

Diagram Gibbs modifikasi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan parameter TDS dibandingkan dengan $\text{Na}^{2+}/(\text{Na}^++\text{Cl}^-)$ (Gambar 9) serta parameter TDS dengan $\text{Cl}^-/(\text{Cl}^-+\text{HCO}_3^-)$ (Gambar 10) (Cahyadi dkk., 2022). Hasil pengukuran lapangan menunjukkan nilai TDS yang cukup rendah, yakni di bawah 200 mg/L. Selain itu, hasil analisis perbandingan parameter $\text{Na}^{2+}/(\text{Na}^++\text{Cl}^-)$ dan $\text{Cl}^-/(\text{Cl}^-+\text{HCO}_3^-)$ dengan TDS tergolong rendah. Hal tersebut menunjukkan bahwa kandungan ion pada mata air di lereng selatan Gunungapi Merbabu berasal dari proses mineralisasi hasil interaksi air-batuan (Hoaghia *et al.*, 2021).



Gambar 8. Grafik Perbandingan SO_4^{2-} dengan Total Anion – SO_4^{2-}



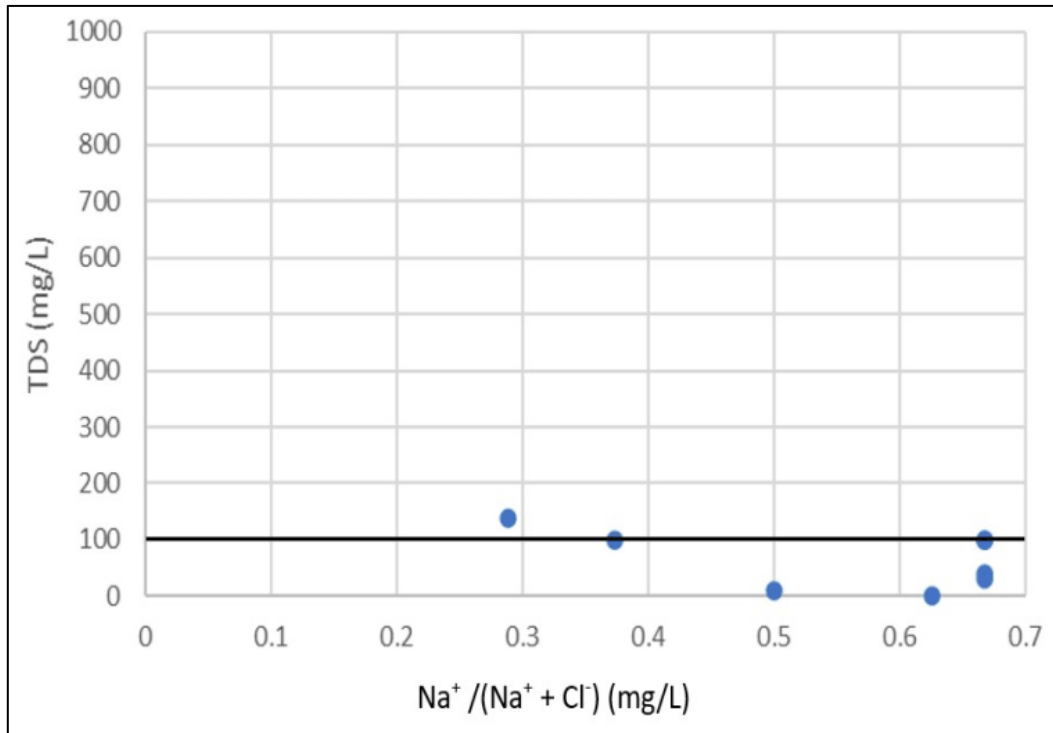
Gambar 9. Diagram Gibbs Modifikasi dengan Parameter TDS *versus* $\text{Na}^{2+}/(\text{Na}^{+}+\text{Cl}^{-})$ di Lokasi Kajian

Hasil analisis di atas mendukung analisis sebelumnya (Diagram Schoeller, diagram piper, dan analisis perbandingan ion/ *bivariate analysis*) bahwa kandungan ion pada mata air berasal dari interaksi dengan batuan khususnya pada zona lensas tanah. Hal ini juga didukung dari karakteristik *natural background* dari komposisi air hujan yang memiliki kandungan ion mayor yang rendah, sehingga kandungan ion mayor pada mata air bukan berasal dari air hujan saja. Selain itu, Diagram Gibbs ini juga menunjukkan bahwa mata air secara garis besar masih belum banyak mendapat pengaruh dari aktivitas antropogenik ditinjau dari nilai TDS yang rendah.

Hasil analisis perbandingan Klorida dan Nitrat pada Tabel 6. menunjukkan bahwa pencemaran oleh aktivitas antropogenik telah terjadi di lokasi kajian khususnya pada air tanah yang berasal dari Gua Kanat. Nilai perbandingan Klorida dan Nitrat pada lokasi tersebut adalah 1:1,5, yang artinya Klorida yang terdapat di lokasi kajian berasal dari tinja (Fathmawati *et al.*, 2018). Jika melihat penggunaan lahan di atas Gua

Kanat yang berupa lahan pertanian, maka kemungkinan sumber Klorida bukan dari tinja (black water), tetapi berasal dari pupuk organik atau pupuk kandang. Hal ini juga terkonfirmasi dari hasil penelitian Adji dkk. (2023) di Kawasan Karst Gunungsewu dengan penggunaan lahan yang dominan berupa lahan pertanian.

Natural background berupa air hujan menunjukkan adanya kandungan Nitrat yang kemungkinan berasal dari deposisi atmosfer. Hal tersebut menunjukkan bahwa Nitrat pada mata air yang jauh dari permukiman, seperti Tuk Babon, Tuk Pakis, dan Tuk Lencoh bukan dari aktivitas antropogenik, melainkan berasal dari input air hujan. Nitrat di dalam air hujan berasal dari polusi udara dari gas NO_x (N_2O , NO_2 , N_2O_4 , dan sebagainya) yang bersumber dari kendaraan bermotor dan mesin stasioner putaran tinggi yang menghasilkan panas tinggi di mana dalam proses pembakarannya melibatkan Nitrogen (Sutanto & Iryani, 2011).



Gambar 10. Diagram Gibbs Modifikasi dengan Parameter TDS *versus* $Cl^{-}/(Cl^{-}+HCO_{3}^{-})$ di Lokasi Kajian

Tabel 6. Perbandingan Nitrat dan Klorida pada Sampel Air di Lokasi Kajian

No.	Lokasi Pengambilan Sampel	Cl^{-} (meq/l)	NO_{3}^{-} (meq/l)	$Cl^{-} : NO_{3}^{-}$
1	Sungai Sabo Dam	0,23693	0,02806	1:0,12
2	Air goa kanat	0,04231	0,06355	1:1,50
3	Mata air X	0,20873	0,11112	1:0,53
4	Tuk Lencoh	0,04231	0,00081	1:0,12
5	Tuk Babon	0,04231	0,00274	1:0,06
6	Tuk Pakis	0,04231	0,00339	1:0,08
7	Air Hujan Jalur Pendakian Selo	0,02821	0,00145	1:0,05
8	Air Hujan Alun-Alun Selo	0,01692	0,00032	1:0,02

Sumber: Hasil Analisis Data (2023)

Keterangan: Nilai dengan huruf dicetak tebal menunjukkan pencemaran oleh antropogenik

KESIMPULAN.

Kondisi kualitas air dari mata air – mata air yang berada di lereng selatan Gunungapi Merbabu dalam kondisi baik (sesuai dengan baku mutu) dan tidak ada parameter yang melebihi baku mutu. Meskipun demikian, indikasi adanya pencemaran oleh aktivitas antropogenik telah nampak dengan ditandai dari nilai

perbandingan Klorida dan Nitrat yang tinggi pada air tanah yang keluar dari Gua Kanat. Pencemaran Nitrat ini kemungkinan berasal dari pengaplikasian pupuk kandang pada kegiatan pertanian di wilayah tangkapan air dari Gua Kanat. Selain itu, parameter Fosfat yang tinggi dan melebihi baku mutu telah ditemukan

pada perairan terbuka, yakni pada sungai yang kemungkinan berasal dari penggunaan pupuk pada aktivitas pertanian.

Hasil analisis hidrogeokimia menunjukkan bahwa pengayaan Magnesium dan Kalsium merupakan proses yang dominan terjadi, sehingga tipe hidrogeokimia yang dominan adalah $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$. Hasil ini menunjukkan bahwa airtanah yang keluar melalui mata air di lereng selatan Gunungapi Merbabu berasal dari akuifer dangkal dan bersifat lokal. Hasil tersebut juga terkonfirmasi dari karakteristik DHL, TDS dan perbandingan suhu udara dan suhu air pada mata air.

Penelitian ini memiliki kelemahan diantaranya disebabkan pengambilan sampel hanya bersifat sesaat dan tidak multi-temporal. Oleh karenanya, penelitian di masa mendatang perlu dilakukan pengambilan sampel secara multi-temporal untuk mendapatkan karakteristik hidrogeokimia dan kualitas air yang mencerminkan proses selama paling tidak satu siklus hidrologi (satu tahun). Selain itu, perlu dilakukan analisis lebih rinci seperti analisis isotop, analisis geofisika dan geologi (pembuatan data bor), dan penentuan wilayah resapan dan perlindungan untuk menjaga kelestarian dan kualitas air yang baik dari mata air di lereng selatan Gunungapi Merbabu.

PENAKUAN

Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan Ekspedisi EGSA yang diselenggarakan dengan pendanaan yang berasal dari Pusat Studi Lingkungan Hidup (PSLH) Universitas Gadjah Mada (UGM) dengan nomor 042/EKSPEDISI/PP/EGSA/2023 090-6/UN1/PSLH/TU/PM/2023. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam pelaksanaan penelitian ini, khususnya PSLH UGM,

Pemerintah Kecamatan Selo, Kabupaten Boyolali, Masyarakat Kecamatan Selo, Kabupaten Boyolali, Balai Taman Nasional Gunung Merbabu, dan Departemen Geografi Lingkungan Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, T.N., Cahyadi, A., Ramadhan, G.S., Haryono, E., Purnama, S., Tastian, N.F., Acitya, R. & Putra, R.D. 2023. Analisis Dampak Aktivitas Antropogenik Terhadap Kualitas Air Sungai Bawah Tanah Seropan, Kawasan Karst Gunungsewu, Kabupaten Gunungkidul. *Jurnal Geografi, Edukasi dan Lingkungan*, 7(1), 1-17.
- Aribowo, Y. & Nurohman, H. 2012. Studi Geokimia Air Panas Area Prospek Panas Bumi Gunung Kendalisodo Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah. *TEKNIK*, 33(1), 32-36.
- Arnis, W.V., Putra, D.P.E. & Hendrayana, H. 2017. Hidrogeokimia Air Tanah di Lereng Gunung Merapi-Gunung Merbabu Bagian Timur, Kabupaten Boyolali dan Klaten, Povinsi Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Kebumian Ke-10*, 338-345. Yogyakarta: Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Ashari, A. & Widodo, E. 2019. Hidrogeomorfologi dan Potensi Mata Air Lereng Barat Gunung Merbabu. *Majalah Geografi Indonesia*, 33(1), 48-56.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2022. Kecamatan Selo dalam Angka 2022. Diakses melalui <https://boyolalikab.bps.go.id/publication/2022/09/26/02bb77718258a9ce70383bd9/kecamatan-selo-dalam-angka-2022.html>
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2021. Kecamatan Selo dalam Angka 2021.

- Diakses melalui <https://boyolalikab.bps.go.id/publication/2021/09/24/8d64756c82ca4caea64dc9df/kecamatan-selo-dalam-angka-2021.html>
- Boyd, C.E. 2020. *Water Quality An Intriduction, Third Edition*. Switzerland: Springer Nature.
- Cahyadi, A., Haryono, E., Adji, T.N., Widyastuti, M., Riyanto, I.A., Muhammad, D.T.N. & Tastian, N.F. 2021b. Rainfall Variability in Gunungsewu Karst Area, Java Island, Indonesia. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 8(1), 23-35. <https://doi.org/10.20886/ijfr.2021.8.1.23-35>
- Cahyadi, A., Haryono, E., Adji, T.N., Widyastuti, M., Riyanto, I.A., Acintya, R. & Qushoyyi, N.F. 2022. Karakteristik Hidrogeokimia dan Kualitas Air pada Mata Air Karts Selonjono Karst Gunungsewu Daerah Istimewa Yogyakarta. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, 6(2), 175-185.
- Clark, I. 2015. *Groundwater Geochemistry and Isotopes*. New York: CRC Press
- Fadillah, S., Budianta, W., Putra, D.P.E., Kuncoro, D.A., & Priandani, F. 2023. Hydrogeochemistry of Springwater in Leuwisari Subdistrict and Surrounding, Tasikmalaya, West Jawa, Indonesia. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Environment, Agriculture and Tourism (ICOSEAT 2022)*, 26. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-086-2_49
- Fathmawati, F., Fachiroh, J., Sutomo, A. H., & Putra, D.P.E. 2018. Origin and Distribution of Nitrate in Water Well of Settlement Areas in Yogyakarta, Indonesia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(11). <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6958-y>
- Hendrayana, H. 2013. *Hidrogeologi Mata Air*. Yogyakarta: Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Hiscock, K.M. & Bense, V.F. 2014. *Hydrogeology Principles and Practice, Second Edition*. Chicester, UK: Willey Blackwell
- Hoaghia, M.A., Moldovan, A., Kovacs, E., Mirea, I.C., Kenesz, M., Brad, T., Cadar, O., Micle, V., Levei, E. A., & Moldovan, O.T. 2021. Water Quality and Hydrogeochemical Characteristics of Some Karst Water Sources in Apuseni Mountains, Romania. *Water (Switzerland)*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/w13060857>
- Irawan, D.E. & Puradimaja, D.J. 2006. The hydrogeology of the Volcanic Spring Belt, East Slope of Gunung Ciremai, West Java, Indonesia. *Proceeding of IAEG Conference*. <https://silo.tips/download/the-hydrogeology-of-the-volcanic-spring-belt-east-slope-of-gunung-ciremai-west-j#>
- Irawan, D.E., Puradimaja, D.J., Notosiswoyo, S. & Soemintadiredja, P. 2009. Hydrogeochemistry of Volcanic Hydrogeology Based on Cluster Analysis of Mount Ciremai, West Java, Indonesia. *Journal of Hydrology*, 376(1-2), 221-234. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.07.033>
- Jiang, Y., Zhang, C., Yuan, D., Zhang, G. & He, R. 2008. Impact of Land Use Change on Groundwater Quality in a Typical Karst Watershed of southwest China: A Case Study of the Xiaojiang Watershed, Yunnan Province. *Hydrogeology Journal*, 16(4), 727-735. <https://doi.org/10.1007/s10040-007-0259-9>
- LaFemina, P.C., 2015. Plate Tectonics and Volcanism, *The Encyclopedia of Volcanoes*.

- <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00003-1>
- Leong, J.Y.C., Chong, M.N., Poh, P.E., Hermawan, A. & Talei, A. 2017. Longitudinal Assessment of Rainwater Quality under Tropical Climatic Conditions in Enabling Effective Rainwater Harvesting and Reuse Schemes. *Journal of Cleaner Production*, 143, 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.149>
- Mulyaningsih, S., Hidayat, S., Rumanto, B.A. & Saban, G. 2016. Identifikasi Karakteristik Erupsi Gunungapi Merbabu Berdasarkan Stratigrafi dan Mineralogi Batuan Gunungapi. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi. <http://eprints.akprind.ac.id/243/>
- Saalidong, B.M., Aram, S.A., Otu, S. & Lartey, P.O. 2022. Examining the Dynamics of the Relationship Between Water pH and Other Water Quality Parameters in Ground and Surface Water Systems. *PLoS ONE*, 17(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262117>
- Santosa, L.W. 2006. Hidrogeomorfologi Mata Air di Sebagian Lereng Barat Gunungapi Lawu. *Forum Geografi*, 20(1), 68-85
- Sapiee, B., Magetsari, N.A., Harsolumakso, A.H. & Abdullah, C.I. 2010. *Geologi Fisik*. Bandung: ITB Press.
- Singhal, B.B.S. & Gupta, R.P. 2010. *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks, Second Edition*. Berlin: Springer Dordrecht
- Sutanto & Iryani, A. 2011. Hujan Asam dan Perubahan Kadar Nitrat dan Sulfat dalam Air Sumur di Wilayah Industri Cibinong-Citeureup Bogor. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, 14(1), 1-9
- Wakida, F.T. & Lerner, D.N. 2006. Potential Nitrate Leaching to Groundwater from House Building. *Hydrological Processes*, 20(9), 2077–2081.
- Wardoyo, M.A.I. & Khotimah, N. 2021. Hidrogeomorfologi Mata Air Stratovolkano di Area Celah Selo Jawa Tengah. *Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian*, 19(2), 136-148.
- World Health Organization. 2022. Guidline of Drinking Water. Diakses melalui <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>
- Zhang, B., Zhao, D., Zhou, P., Qu, S., Liao, F. & Wang, G. 2020. Hydrochemical characteristics of groundwater and Dominant Water-Rock Interactions in the Delingha area, Qaidam Basin, Northwest China. *Water (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/w12030836>