

## Karakteristik Hidrokimia dan Model Konseptual Sistem Akuifer di Sumberarum, Tempuran, Magelang, Jawa Tengah

Agreita Salsabila Maheswari<sup>1,2</sup>, Doni Prakasa Eka Putra<sup>1\*</sup>, Esti Handini<sup>1</sup>, Wahyu Wilopo<sup>1</sup>, Raja Susatio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika 2, Sleman, D.I. Yogyakarta, Indonesia, 55281

<sup>2</sup>PT. ANTAM Tbk, ANTAM Office Park Tower B Jl. Letjen TB.Simatupang No.1 Lingkar Selatan, Tanjung Barat, Jakarta, Indonesia, 12530

Email koresponden: [putra\\_dpe@ugm.ac.id](mailto:putra_dpe@ugm.ac.id)

Submit: 2022-10-27 Direvisi: 2022-11-18 Accepted: 2023-04-24  
©2023 Fakultas Geografi UGM dan Ikatan Geograf Indonesia (IGI)

**Abstrak.** Keberadaan mata air panas di Desa Sumberarum adalah unik karena menjadi satu-satunya mata air panas yang diketahui di lereng timur Gunung Sumbing. Penelitian terhadap sumber mata air panas dan sumur gali di desa ini dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik fisika-kimia dan kandungan kimiawi air tanah serta menentukan penampang hidrogeologi konseptual sistem akuifer. Penelitian ini membutuhkan data hidrogeologi mencakup pengukuran parameter fisik (pH, temperatur, TDS, DHL), dan pengambilan sampel untuk uji ion mayor. Observasi dan pengambilan sampel air tanah dilakukan secara periodik setiap bulan selama 6 bulan untuk mengetahui perubahan yang mungkin terjadi pada 2 musim berbeda (kemarau dan penghujan). Ion mayor yang didapatkan dari uji laboratorium dianalisis menggunakan metode kurlov dan diagram stiff untuk mengetahui tipe air tanahnya. Analisis ion mayor menggunakan diagram fingerprint dilakukan untuk mengetahui konektivitas airtanah pada akuifer. Karakteristik fisika-kimia pada sumber air panas menunjukkan nilai pH 6,7-7, temperatur 33,7-35,7°C, TDS 1.650-2.000 mg/l, dan DHL 3.300-4.000  $\mu$ S/cm. Karakteristik sumur gali di sekitar sumber air panas memiliki nilai pH 4.6-6, temperatur 27.1-29°C, TDS 90-295 mg/l, dan DHL 180-590  $\mu$ S/cm. Klasifikasi tipe air tanah menggunakan metode Kurlov berdasarkan kandungan ion mayor pada 5 sampel air menghasilkan 3 tipe air, yaitu Tipe Na-Cl (tipe air panas), Tipe Ca-HCO<sub>3</sub> (tipe sumur gali) dan Tipe Ca-HCO<sub>3</sub>-Cl (tipe percampuran). Berdasarkan hasil ini, diketahui sistem akuifer pada area penelitian terbagi menjadi sistem akuifer dangkal (sumur gali) dan sistem akuifer dalam (sumber mata air panas). Sistem akuifer dalam diperkirakan berada pada kedalaman kurang lebih 200 meter dari permukaan tanah.

**Kata kunci:** air tanah, hidrokimia, mata air panas, magelang

**Abstract.** The existence of a hot spring in Sumberarum Village is unique because it is the only known hot spring on the eastern slope of Mount Sumbing. Research on hot spring and dug wells was conducted to identify the physico-chemical characteristics and chemical content of groundwater but also to determine the conceptual model of the aquifer system. Research requires hydrogeological data, including measurement of physical parameters (pH, temperature, TDS, DHL) and sampling for major ion tests. Observations and groundwater sampling are conducted every month for six months to discover changes that might occur in two seasons (dry and rainy). The major ions obtained from laboratory tests were analyzed using the Kurlov method and a stiff diagram to determine the type of groundwater. Major ion analysis using a fingerprint diagram is carried out to determine groundwater connectivity in aquifers. The physico-chemical characteristics of the hot springs show a pH value of 6.7-7, a temperature of 33.7-35.7°C, a TDS of 1650-2000mg/l, and a DHL of 3300-4000 $\mu$ S/cm. The characteristics of dug wells around hot springs have pH values of 4.6-6, temperatures of 27.1-29°C, TDS 90-295mg/l, and DHL 180-590 $\mu$ S/cm. Classification of groundwater types using the Kurlov method based on the content of major ions in 5 water samples resulted in 3 types of water, namely Na-Cl type (hot water type), Ca-HCO<sub>3</sub> type (dug well type) and Ca-HCO<sub>3</sub>-Cl type (mixed type). Based on these results, it is known that the aquifer system in the study area is divided into shallow aquifer systems (dug wells) and deep aquifer systems (hot springs). The deep aquifer system is estimated to be at a depth of approximately 200 meter from the ground surface.

**Keywords:** groundwater, hydrochemistry, hot springs, magelang

### PENDAHULUAN

Desa Sumberarum terletak di lereng timur Gunung Sumbing, Kabupaten Magelang. Di desa ini, sejak dahulu diketahui terdapat mata air panas yang disebut mata air Ngasinan yang mengalir secara alamiah (lihat Gambar 1). Masyarakat di desa ini memenuhi kebutuhan air bersih dengan memanfaatkan air tanah dari sumur gali. Pada awal tahun 2020 dilakukan pengeboran sumur air tanah sedalam 80 m yang berjarak kurang lebih 100 m ke arah selatan-tenggara dari mata air panas dan menghasilkan air panas.

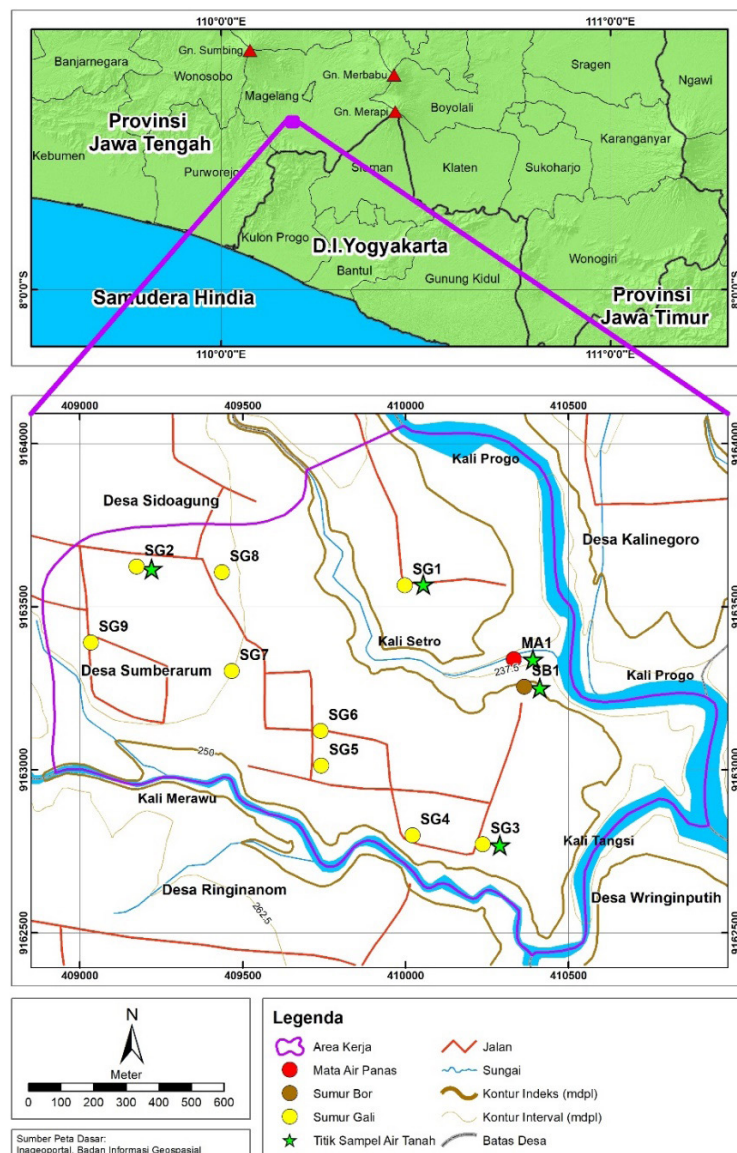
Hal ini menyebabkan beberapa sumur bor baru dibuat untuk mengeksploitasi air panas guna keperluan wisata pemandian di wilayah ini.

Mata air panas diklasifikasikan sebagai air tanah yang memiliki temperatur 6<sup>o</sup> – 10<sup>o</sup> celcius lebih tinggi dibandingkan temperatur udara rata-rata permukaan (Todd dan Mays, 2005). Secara umum fenomena mata air panas berasosiasi dengan batuan vulkanik yang berkaitan dengan sistem akuifer dalam (Ta dkk., 2019). Berdasarkan peta geologi, Desa Sumberan dominan tersusun oleh batuan vulkanik

kuarter terdiri dari lava andesit, breksi piroklastik, lahar hingga batupasir vulkanik/tufan (Maheswari, 2022). Struktur geologi yang ditemukan pada wilayah ini adalah patahan yang berarah Barat Laut – Tenggara dan kemunculan mata air di lereng timur Gunung Sumbing berasosiasi dengan keberadaan patahan-patahan ini (Saputra dkk., 2017).

Penelitian hidrokimia air tanah baik mata air panas, mata air dingin, sumur bor dan sumur gali pada lereng Gunung Api di Pulau Jawa telah cukup banyak dilakukan seperti di lereng Gunung Lamongan, Jawa Timur (Deon dkk., 2015), di lereng timur Gunung Ciremai, Jawa Barat (Jumhari dkk, 2019), di lereng utara Gunung Bromo, Jawa Timur (Toulier, dkk, 2019), di wilayah lereng Gunung Rinjani (Satrio dkk., 2020), di wilayah lereng Gunung Api wilayah Bandung selatan (Maria dkk., 2021), dan di lereng selatan-tenggara Gunung Merapi (Hendrayana dkk., 2023). Penelitian hidrokimia yang bersifat regional telah dilakukan di lereng timur Gunung Sumbing oleh Ratna dkk., (2015), dan penelitian kualitas kimia air serta isotop di lereng timur Gunung Sumbing oleh Erlinawati dkk., (2021) dan Erlinawati dkk., (2022). Kedua penelitian tersebut bersifat regional dan pengambilan sampel hanya satu kali, sedangkan penelitian ini lebih difokuskan detail pada wilayah Desa Sumberan dan data kimia air tanah diambil

secara periodik selama 6 bulan. Tentunya diharapkan secara hidrogeologi, karakteristik hidrokimia lokal dan konsep sistem akuifer yang mensuplai mata air panas dan sumur bor air panas serta air tanah dangkal di daerah penelitian dapat dikonfirmasi apakah sesuai dengan hasil penelitian regional atau sama sekali berbeda dan apakah ada bukti hidrokimia yang menunjukkan terjadinya pencampuran air tanah dari sumber air panas dan sumber air tanah dangkal. Salah satu pendekatan untuk mengetahui hal tersebut adalah dengan melakukan karakterisasi hidrokimia air tanah baik pada mata air panas dan sumur gali di daerah penelitian karena sifat kimiawi airtanah tergantung pada perbedaan dan asal usul air yang terkait dengan sistem air tanah (Venkatramanan dkk., 2017, Putra dkk., 2020, Hendrayana, dkk., 2022). Berdasarkan hal ini, maka tujuan penelitian ini adalah (1) mengetahui karakteristik fisika-kimia dan kandungan kimiawi air tanah pada mata air panas, sumur bor air panas dan sumur gali di area penelitian, (2) mengetahui apakah ada keterkaitan antara mata air panas, sumur bor air panas dan sumur gali menurut tipe/fasies kimia air, dan (3) menentukan penampang hidrogeologi model konseptual sistem akuifer berdasarkan karakteristik hidrokimia air tanah pada area penelitian.



Gambar 1. Lokasi area penelitian

## METODE PENELITIAN

Alat dan bahan utama yang dibutuhkan dalam penelitian adalah GPS, *portable water quality test kit* dan peralatan pengambilan dan preservasi sampel air tanah. Data yang dibutuhkan dari sampel air tanah adalah karakteristik fisika-kimia air tanah dan kandungan kimia air tanah (ion mayor) yaitu  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$ . Metode penelitian berupa observasi langsung di lapangan dan pengambilan sampel air secara periodik selama enam bulan (September 2021 – Februari 2022) serta analisis kandungan kimia air tanah di laboratorium. Interval waktu September – Februari dipilih karena puncak musim panas dan hujan pertama terjadi pada rentang waktu tersebut.

Observasi lapangan yang dilakukan meliputi pengukuran data sifat fisika-kimia air tanah dengan menggunakan *portable water quality test kit* meliputi pengukuran pH, temperatur, *Total Dissolved Solid* (TDS) dan Daya Hantar Listrik (DHL). Pengukuran dilakukan pada 11 titik amat yang terdiri dari sembilan titik sumur gali, satu titik mata air panas dan satu titik sumur bor air panas (Gambar 1). Sebanyak lima sampel diambil untuk dilakukan analisis laboratorium yang meliputi satu sampel mata air panas, satu sampel sumur bor air panas dan tiga sampel sumur gali (yang dipilih dari sembilan sumur gali) pada area penelitian. Pemilihan dari tiga sampel sumur gali yang diambil ini yaitu dengan melihat lokasi dari ketiga sumur gali tersebut, di mana dipilih sumur gali yang terletak pada bagian Utara (SG1), Barat (SG2) dan Selatan dari lokasi sumber air panas (SG3), selain itu pemilihan dari ketiga titik sumur gali ini juga dengan memperhatikan arah aliran air tanah yang cenderung mengalir ke arah Selatan (ke arah SG 3), sehingga dengan mengambil titik sumur gali yang terletak pada bagian Utara, Barat dan Selatan dari lokasi sumber air panas, diharapkan dapat diketahui bagaimana pengaruh dari sumber air panas tersebut terhadap sumur gali-sumur gali yang terletak disekitarnya.

Analisis kandungan kimia air tanah dilakukan dengan metode *Ion Chromatography* (IC) untuk mendapatkan kandungan ion mayor yang mencakup  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$ . Kandungan ion  $\text{HCO}_3^-$  diukur dengan metode titrasi dikarenakan metode *Ion Chromatography* tidak bisa untuk mengukur ion tersebut. *Alkalinity* test tidak dilakukan secara langsung di lapangan dan merupakan keterbatasan pada penelitian ini. Perhitungan *Charge Balance Error* (CBE) dilakukan untuk memastikan data hasil analisis kimia layak dengan nilai CBE maksimal mempunyai nilai absolut 5% (Hiscock & Bense, 2014). Analisis data kimia selanjutnya meliputi evaluasi tipe kimia diagram Stiff untuk memahami perubahan komposisi kimia pada suatu aliran air tanah (Martadiastuti dkk., 2017, Wilopo dkk., 2019), serta diagram Fingerprint (Boulom dkk., 2015) berdasarkan atas kemiripan pola untuk karakterisasi dan interpretasi mengenai sumber air dan sistem akuifer.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sifat Fisika-Kimia Air Tanah

Air tanah dari sumber air panas yaitu mata air Ngasinan dan sumur bor air panas memiliki nilai pH berkisar antara 6,70 – 7,04 atau masuk kategori pH normal, sedangkan pada sumur gali yang terletak di sekitar sumber air panas memiliki nilai pH lebih rendah yaitu berkisar antara 4,6 – 6,0 atau cenderung asam hingga normal. Sebaran nilai pH di daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 2. Penelitian di lereng Gunung Lamongan menunjukkan bahwa mata air panas

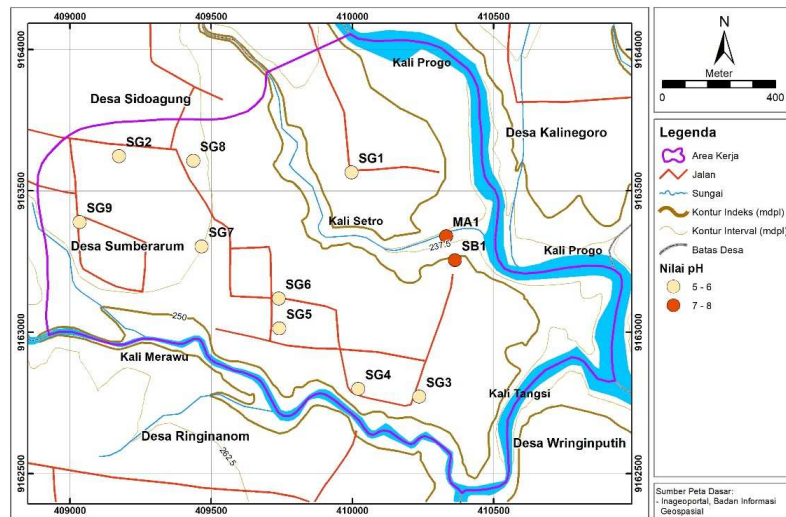
memiliki pH 7,02-7,60 (Deon dkk., 2015) sedangkan mata air panas di Gunung Rinjani memiliki nilai pH berkisar pada 6,34 – 7,35 (Satrio dkk., 2020). Sumber air panas dan air tanah lainnya di Gunung Ciremai menunjukkan pH 6,17 – 7,80 (Jumhari dkk., 2019) dan nilai pH pada mata air dingin, sumur bor dan sumur gali di lereng Gunung Bromo, Lereng Gunung Api Bandung selatan, dan Lereng selatan-tenggara Gunung Merapi memiliki nilai pH cenderung asam hingga normal 5,40 – 7,90 (Toullier dkk., 2018, Maria dkk., 2020 dan Hendrayana dkk., 2023). Hasil ini menunjukkan bahwa karakteristik nilai pH pada sumber air panas dan air tanah dangkal di daerah penelitian mirip dengan wilayah lainnya di Pulau Jawa.

Temperatur air pada sumber air panas berkisar antara 33,7 – 35,7 °C, sedangkan pada sumur gali memiliki nilai temperatur berkisar antara 27,1 – 29,0°C (lihat Gambar 2). Rata-rata temperatur udara permukaan pada area penelitian yaitu 29,3°C sehingga dapat disimpulkan bahwa temperatur air tanah pada mata air panas dan sumur bor dapat dikategorikan sebagai air panas karena memiliki rata-rata temperatur lebih tinggi dibandingkan temperatur udara permukaan. Data di area penelitian ini berada pada kisaran yang mirip dengan data dari wilayah Gunung Api lainnya. Mata air panas di lereng Gunung Lamongan menunjukkan nilai temperatur air berkisar antara 35,0-45,0°C (Deon dkk., 2015), di lereng Gunung Ciremai memiliki temperatur 36,1°C (Jumhari dkk., 2019) dan temperatur air pada mata air panas di lereng Gunung Rinjani berkisar 35,4 – 45,0°C (Satrio dkk., 2020), dan mata air panas. Pada mata air dingin, sumur gali dan sumur bor di wilayah tersebut di atas termasuk lereng Gunung Api Bromo, wilayah Bandung Selatan serta lereng selatan-tenggara Gunung Merapi, temperatur airnya berkisar pada 18,2 – 31,2°C (Deon dkk., 2015, Jumhari dkk., 2019, Satrio dkk., 2020, Toullier dkk., 2018, Maria dkk., 2020 dan Hendrayana dkk., 2023).

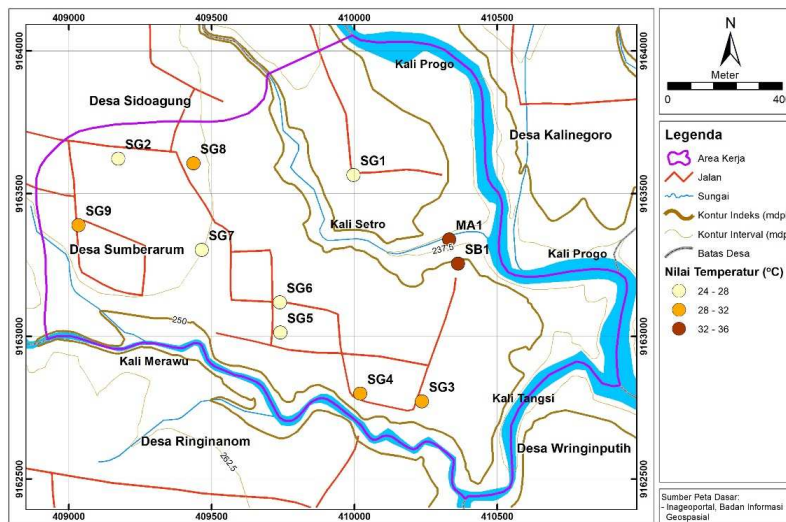
Kandungan *Total Dissolved Solid* (TDS) dan Daya Hantar Listrik (DHL) pada sumber air panas di daerah penelitian berkisar antara 1.650–2.000 mg/l dan 3.300-4.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (lihat Gambar 3). Pada sumur gali, kandungan TDS dan DHL berkisar antara 90 – 295 mg/l dan 190-560  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dengan nilai tertinggi didapatkan pada sumur gali SG3 yang berada relatif selatan-tenggara dari mata air panas. Berdasarkan nilai TDS dan DHL, sumber air panas masuk kategori air payau, sedangkan untuk air sumur gali masuk kategori air tawar (Putra dkk., 2020). Hasil di atas sesuai dengan beberapa penelitian-penelitian pada lereng Gunung Api, di mana mata air panas memiliki kandungan TDS berkisar antara 910-4327 mg/l (Deon dkk., 2015, Jumhari dkk., 2019, Satrio dkk., 2020) dan air dari mata air dingin, sumur bor dan sumur gali di lereng Gunung Api memiliki kandungan DHL yang lebih rendah pada kisaran 50-700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Toullier dkk., 2018, Maria dkk., 2020 dan Hendrayana dkk.

### Kandungan Kimia Air Tanah

Hasil pengujian terhadap kandungan kimia air tanah pada sampel mata air panas dan sumur bor air panas di daerah penelitian menunjukkan bahwa kandungan kation adalah sebagai berikut  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$  dan anion  $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$  (lihat Tabel 1). Sampel air dari mata air panas di lereng gunung api lain menunjukkan hasil yang sama dan berbeda. Pada sampel air dari mata air panas di Gunung Ciremai, kandungan ion dominan adalah  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  (Jumhari dkk., 2019), sedangkan pada mata air panas di Gunung Lamongan  $\text{Na}^+ + \text{K} > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  dan untuk anion  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$



(a)



(b)

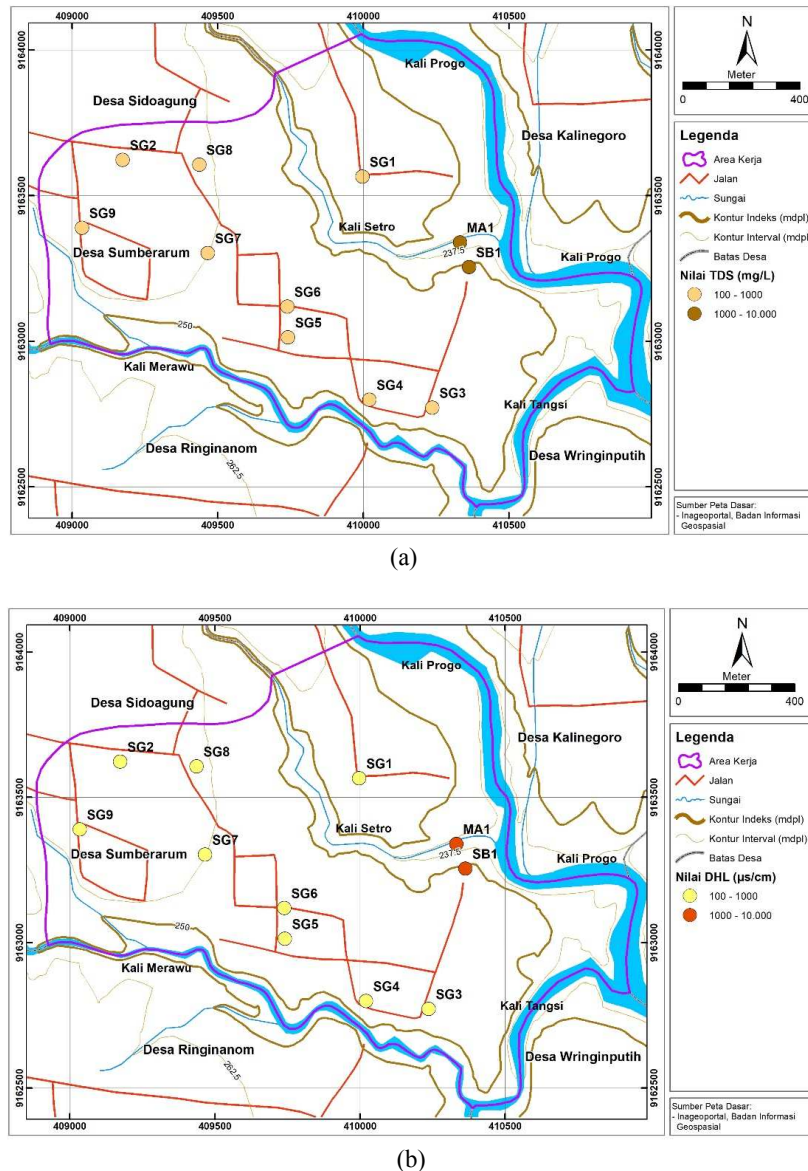
Gambar 2. Peta persebaran nilai (a) pH dan (b) temperatur air tanah pada area penelitian

(Deon dkk., 2015). Mata air panas di lereng Gunung Rinjani menunjukkan dua dominasi  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$  dan  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$  dan  $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$  (Satrio dkk., 2020). Iqbal dkk., (2019) meneliti dua mata air panas di Lampung menunjukkan bahwa urutan kandungan ion yang dominan adalah  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$  dan  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$  dimana air panas muncul berasosiasi dengan patahan geologi dan tidak berada pada lereng Gunung Api. Torres-Ceron, dkk., (2019) menyatakan bahwa pada *setting* geologi area vulkanik tingginya kandungan ion  $\text{Cl}^-$  dan ion  $\text{SO}_4^{2-}$  merupakan tipikal dari sistem geotermal yang berasosiasi dengan vulkanisme. Kadar sulfat yang rendah daripada  $\text{HCO}_3^-$  seperti halnya di area penelitian menunjukkan air panas ini kemungkinan berada pada batas zona *upflow* dan struktur *outflow* dari sistem panas bumi (Deon, dkk., 2015, Tala, dkk., 2020).

Pada sampel dari air tanah dangkal yaitu sampel sumur gali di daerah penelitian, kandungan kimia air tanah di daerah penelitian didominasi oleh ion  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$  dan  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ . (lihat Tabel 1). Dibandingkan dengan hasil penelitian lainnya pada air tanah dangkal di lereng Gunung Api, hasil tersebut dapat dikatakan mirip, semisal penelitian di Gunung Rinjani menunjukkan kation dominan adalah  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  dan untuk anion adalah  $\text{HCO}_3^-$  (Satrio dkk., 2020), demikian juga di lereng Gunung Ciremai (Jumhari dkk.,

2019). Hasil yang sangat mirip didapatkan pada penelitian oleh Maria dkk., (2020), 26 sampel air yang diambil dari mata air dingin, sumur bor dan sumur gali di lereng Gunung Api wilayah Bandung Selatan menunjukkan secara umum urutan kandungan kimia air sebagai berikut  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$  dan  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ . Beberapa sampel air dari penelitian Toullier dkk., (2018) dan Hendrayana dkk., 2023 juga menunjukkan hasil yang sama. Toullier dkk., (2018) bahkan menyimpulkan bahwa tingginya kadar  $\text{Cl}^-$  dari  $\text{SO}_4^{2-}$  pada beberapa sampel air tanah dangkal disebabkan oleh dua faktor yaitu (1) alami berasosiasi dengan aktivitas vulkanik dan (2) antropogenik (pencemaran oleh aktivitas manusia) yang ditandai dengan tingginya kadar  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{NO}_3^-$  pada sampel tersebut. Sampel air yang diambil dari sumur gali di area penelitian selalu berdekatan dengan fasilitas sanitasi sehingga aspek antropogenik diperkirakan mempengaruhi kandungan kimia air tanah dangkal.

Berkenaan dengan nitrat, sampel air dari mata air panas dan sumur bor air panas tidak mengandung nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian kandungan air panas bumi di Islandia yang menyebutkan bahwa kandungan nitrat pada air panas bumi sangat rendah atau  $< 0,1 \text{ mg/L}$  (Kristmannsdóttir, dkk., 2005). Penting untuk dipahami bahwa nitrat dikategorikan sebagai salah satu zat kimia konservatif, sangat



Gambar 3. Peta persebaran nilai (a) TDS dan (b) DHL air tanah pada area penelitian

mudah bergerak dalam air tanah dengan sedikit degradasi dalam waktu yang cukup lama sehingga konsentrasi nitrat pada air tanah dangkal mencerminkan langsung pengaruh aktivitas manusia di permukaan (Fatmawati, dkk., 2018).

### Tipe Kimia Air Tanah dan Konektivitas Akuifer

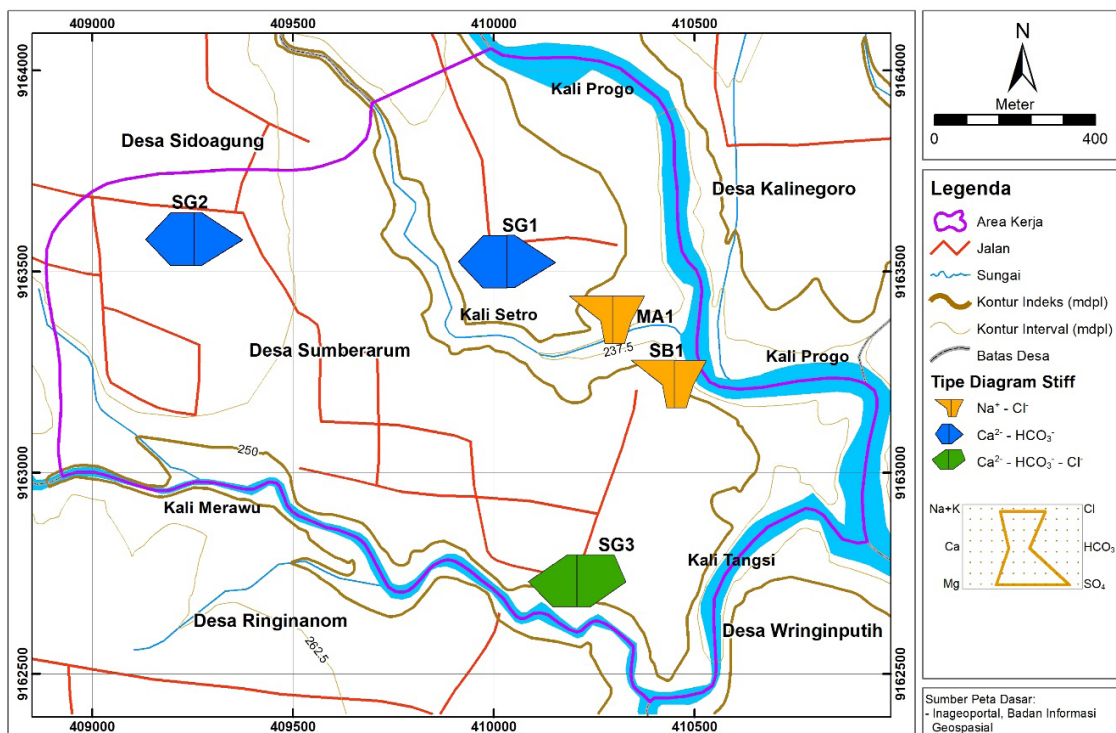
#### Diagram Stiff

Analisis diagram Stiff digunakan untuk membandingkan perubahan komposisi kimia air tanah terhadap pola aliran air tanah. Aliran air tanah di area ini mengalir dari utara-barat laut ke selatan-tenggara mengikuti lereng Gunung Sumbing (Erlinawati dkk., 2022). Berdasarkan peta *plotting* diagram Stiff untuk sampel air di daerah penelitian dapat dilihat perubahan komposisi air tanah yang ada pada daerah penelitian (lihat Gambar 3). Pada sampel air dari sumur gali di bagian utara – barat laut, pola diagram Stiff menunjukkan dominasi ion Kalsium Bikarbonat ( $\text{Ca-HCO}_3$ ). Pada sumber mata air panas (MA1 dan SB1), diagram Stiff dominan pada ion Natrium Klorida ( $\text{Na-Cl}$ ). Hasil yang sama untuk *plotting* diagram Stiff mata air panas dilaporkan juga oleh penelitian Sircar dkk., (2022) dimana 21 sampel air mata air panas yang diambil di provinsi Maharashtra, India semuanya

menunjukkan dominasi ion  $\text{Na-Cl}$ . Tores-Ceron dkk., (2019) melaporkan *plotting* diagram Stiff pada sampel air panas bumi yang diuji dari wilayah Cauca, Colombia lebih dominan pada ion  $\text{Mg-SO}_4$ . Pada bagian selatan area penelitian, pola diagram Stiff yang berubah menjadi tipe Kalsium Bikarbonat Klorida ( $\text{Ca-HCO}_3\text{-Cl}$ ) yang diperkirakan menunjukkan hasil pencampuran air tanah dangkal dengan air dari sumber air panas. Pencampuran ini wajar, oleh karena secara lokal aliran air tanah mengalir dari utara-barat laut (SG1, SG2, MA1 dan SB1) ke arah selatan-tenggara yaitu lokasi titik pantau SG3 (Maheswari, 2022). Adanya pencampuran ini dibuktikan dengan oleh meningkatnya ion Mg pada SG3 dibandingkan dengan sampel SG1 dan SG2 yang diperkirakan akibat pelarutan yang berasosiasi dengan penurunan suhu seperti dilaporkan juga oleh Wang dkk., (2018) pada penelitian mata air panas di wilayah Chabu, Tibet. Berdasarkan evaluasi diagram Stiff, maka terdapat tiga fasies kimia air tanah di daerah penelitian yang dapat diinterprestasikan sebagai berikut (1) fasies sistem akuifer dangkal (SG1 dan SG2) dan (2) fasies sistem akuifer dalam yang berasosiasi dengan aktivitas panas bumi (MA 1 dan SB1) serta (3) fasies pencampuran air tanah dangkal dan sistem air panas bumi (SG3) di bagian selatan-tenggara daerah penelitian.

Tabel 1. Hasil pengujian kandungan ion kimia air tanah area penelitian (Maheswari, 2022)

Kode Sampel	Bulan	Ion Kation (meq/l)				Ion Anion (meq/l)				CBE
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
MA1		22,96	2,22	6,22	3,46	6,4	22,96	0	2,30	4,81
SB1		24,24	2,42	6,07	3,46	6,6	23,65	0	2,56	4,89
SG1	September	0,44	0,22	1,17	0,60	2	0,15	0,12	0,08	1,89
SG2		0,41	0,05	1,13	0,49	2	0,06	0,08	0,06	-2,63
SG3		0,56	0,11	2,31	1,07	2	1,45	0,21	0,15	3,25
MA1		30,29	2,41	6,58	3,40	13	23,35	0	2,33	4,92
SB1		31,60	2,59	6,20	3,45	13,6	23,70	0	2,55	4,77
SG1	Oktober	0,59	0,24	1,26	0,61	2,2	0,17	0,13	0,09	2,40
SG2		0,54	0,06	1,20	0,49	2	0,07	0,10	0,06	1,47
SG3		0,85	0,14	3,35	1,46	2,2	2,78	0,23	0,15	3,97
MA1		29,63	2,38	6,82	3,46	12,2	23,81	0	2,29	4,93
SB1		31,39	2,58	6,62	3,45	12,4	25,10	0	2,43	4,90
SG1	November	0,64	0,20	1,38	0,59	2,2	0,24	0,15	0,11	2,00
SG2		0,53	0,05	1,22	0,50	1,8	0,12	0,21	0,08	2,09
SG3		0,63	0,10	1,93	0,83	2,2	0,82	0,21	0,14	1,84
MA1		29,87	2,40	6,60	3,35	12,2	23,81	0	2,27	4,90
SB1		31,16	2,56	6,58	3,43	12,4	24,92	0	2,38	4,83
SG1	Desember	0,63	0,20	1,42	0,60	2,2	0,24	0,18	0,10	2,32
SG2		0,54	0,06	1,24	0,51	2	0,14	0,21	0,08	-2,06
SG3		0,69	0,11	2,13	0,92	2,2	1,04	0,23	0,13	3,30
MA1		21,03	2,08	5,91	3,46	7	23,61	0	2,22	-0,54
SB1		22,03	2,26	5,86	3,44	7,2	24,96	0	2,54	-1,63
SG1	Januari	0,46	0,17	1,33	0,60	1,8	0,24	0,22	0,10	3,91
SG2		0,39	0,05	1,15	0,50	1,8	0,15	0,16	0,09	-2,76
SG3		0,53	0,10	2,36	1,12	2,2	1,84	0,23	0,14	-3,52
MA1		19,69	1,95	5,82	3,22	5,8	23,84	0	2,13	-1,75
SB1		22,00	2,24	5,81	3,41	6,8	25,80	0	2,55	-2,47
SG1	Februari	0,45	0,17	1,37	0,62	2	0,28	0,25	0,11	-0,51
SG2		0,38	0,05	1,14	0,50	1,6	0,15	0,17	0,09	1,09
SG3		0,50	0,09	2,12	0,99	2	1,48	0,27	0,16	-2,73

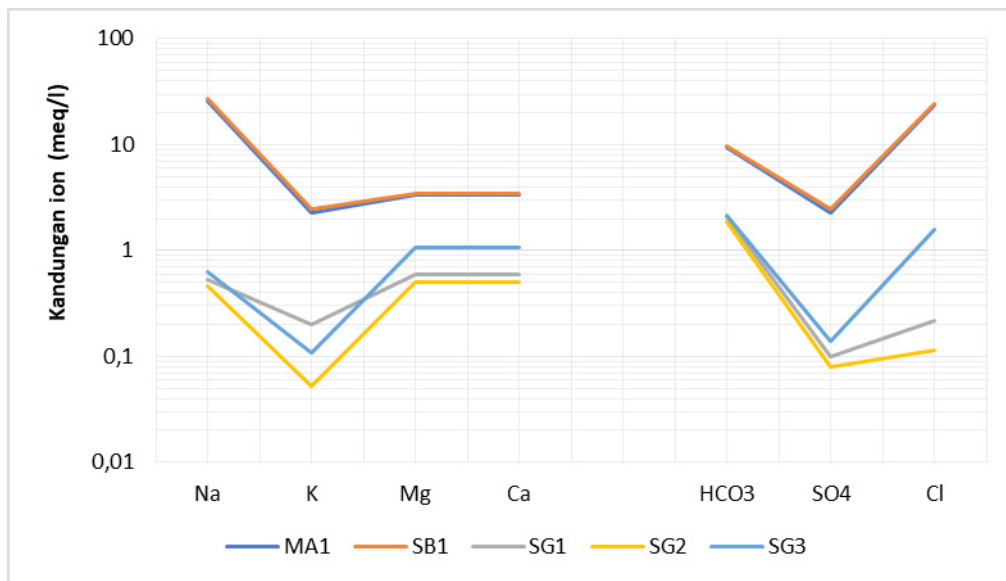


Gambar 3. Plotting diagram Stiff air tanah di daerah penelitian

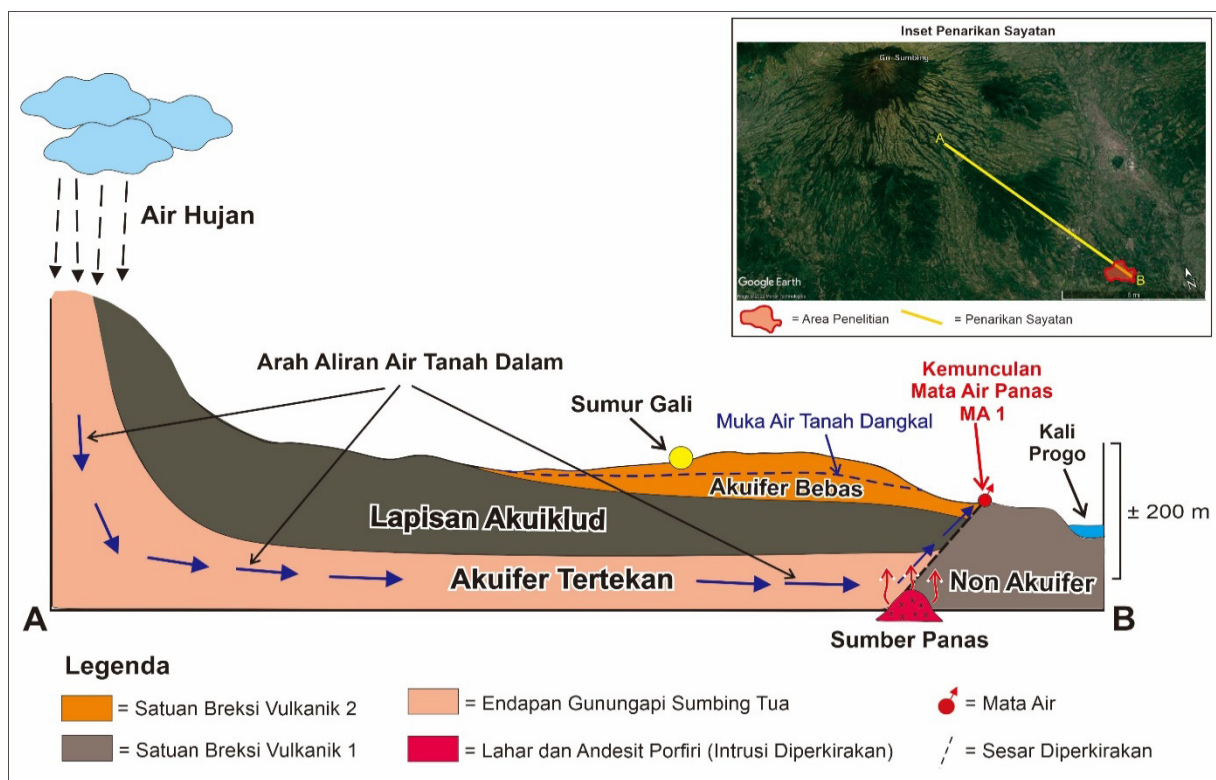
Diagram Fingerprint

Ion kation dan anion diplot pada diagram Fingerprint untuk mendapatkan suatu pola tertentu. Pola yang menunjukkan bentuk yang serupa menggambarkan bahwa air tanah tersebut berasal dari akuifer yang sama. Jika pola yang digambarkan berbeda, maka besar kemungkinan air tanah berasal dari akuifer yang berbeda (Boulom, dkk., 2015). Berdasarkan hasil pengeplotan pada diagram Fingerprint (Gambar 4) diketahui bahwa air tanah di daerah penelitian terdiri atas 3 kelompok pola yang berbeda yaitu Pola I yang terdiri atas sampel MA1 dan SB1, dan Pola II yang terdiri atas sampel SG1, SG2 dan SG3. Pola I memiliki ciri kandungan ion mayor > 2 meq/l pada masing-masing ion kation dan anion dan dapat dilihat bahwa  $Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+$  sedangkan

urutan kandungan anion adalah  $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-}$ . Pola I ini mewakili pola air tanah yang bersumber dari sistem panas bumi. Pola II memiliki ciri kandungan ion mayor berkisar antara 0,05 – 2 meq/l dan urutan kandungan ion dari besar ke kecil adalah  $Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+} > K^+$  sebagai kation dan  $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-}$  sebagai anion. Kandungan ion Bikarbonat yang relatif besar mengindikasikan bahwa sistem akuifer ini terletak dekat dengan permukaan (sistem akuifer dangkal) dan terpengaruh oleh air meteorik secara langsung (Ngansom dan Durrast, 2021). Khusus pada area yang berasosiasi dengan proses vulkanik, kandungan bikarbonat pada air tanah umumnya berasal dari disolusi kandungan  $CO_2$  (Luse dan Makonga, 2019).



Gambar 4. Diagram fingerprint kandungan ion rerata pada air tanah di daerah penelitian



Gambar 5. Penampang model konseptual sistem akuifer pada daerah penelitian

## Penampang Model Konseptual Sistem Akuifer

Berdasarkan hasil evaluasi hidrokimia maka penampang model konseptual akuifer di daerah penelitian dapat diinterpretasikan (lihat Gambar 5). Model konseptual ini merupakan revisi dan pendetailan dari hasil penelitian sebelumnya yang bersifat regional (Erlinawati dkk., 2022) dengan dukungan data geologi permukaan oleh Mashewari (2022) termasuk deliniasi patahan berarah utara-selatan. Perlu diketahui bahwa model penampang sistem akuifer ini dibuat dengan keterbatasan belum adanya data pengeboran dan hasil observasi geofisika (lihat Gambar 5).

Pada Gambar 5 dapat dilihat model sistem akuifer di lokasi penelitian yang terbagi menjadi tiga *layer* hidrostratigrafi berupa *layer 1* akuifer bebas (dangkal), *layer 2* akuiklud (lapisan *impermeable*) dan *layer 3* akuifer tertekan (dalam). Secara geologi, akuifer bebas-dangkal yang berada pada lapisan bagian atas tersusun atas satuan breksi vulkanik, kemudian di bawah dari lapisan ini terdapat lapisan satuan breksi vulkanik 2 yang bersifat impermeabel dan menutupi lapisan akuifer tertekan-dalam yang berada di bawahnya. Akuifer tertekan-dalam diperkirakan tersusun oleh endapan Gunung Api Sumbing Tua.. Secara umum aliran air tanah baik bebas-dangkal ataupun tertekan-dalam mengalir dari lereng Gunung Sumbing menuju ke Kali Progo (Erlinawati, dkk., 2022), namun khusus pada daerah penelitian, sebelum aliran air tanah mencapai Kali Progo terdapat patahan dan batuan non akuifer yang merubah aliran air tanah ke arah selatan-tenggara mengikuti kelurusan zona patahan.

Posisi kedalaman akuifer tertekan-dalam telah dihitung berdasarkan perhitungan data temperatur air panas oleh Erlinawati dkk., (2022) dan berada pada kedalaman kurang lebih 203,3 m dibawah permukaan tanah. Menurut penelitian Erlinawati dkk., (2022) diketahui bahwa air panas di lokasi penelitian berasal dari air hujan pada elevasi 600 – 700 mdpl di lereng timur Gunung Sumbing. Hal ini berarti, dari area imbuhan, air mengalami sirkulasi dan mencapai sumber panas bumi (*heat source*) pada kedalaman kurang lebih 200 meter dari permukaan tanah, dan pada kedalaman ini, air mengalami pemanasan oleh sumber magmatik menjadi air panas dengan temperatur > 35° C. Kasus ini juga dilaporkan oleh Idroes dkk., (2019) yang mengatakan bahwa proses pemanasan air panas di daerah penelitiannya dipengaruhi oleh interaksi antara air dengan batuan yang masih dalam kondisi panas. Air panas bumi ini kemudian mengalir naik ke permukaan (*up-flow*) sebagai mata air panas alami akibat adanya kontrol permeabilitas sekunder berupa patahan berorientasi utara-selatan (lihat Gambar 5). Pada proses *up-flow* ini, diperkirakan tidak ada proses pencampuran dengan sistem akuifer dangkal yang dibuktikan dengan tidak adanya kandungan nitrat pada air dari mata air panas. Proses pencampuran terjadi ketika air panas dan air tanah dangkal bercampur secara lateral mengikuti aliran air tanah dangkal seperti dilaporkan juga oleh Deon dkk., (2015) pada daerah penelitian di Gunung Lamongan, Jawa Timur.

## KESIMPULAN

Berkenaan dengan hasil penelitian ini maka beberapa hal dapat disimpulkan sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu; (1) karakteristik fisika-kimia air tanah di daerah penelitian terbagi menjadi dua yaitu air tanah dari akuifer bebas (dangkal) memiliki nilai TDS dan DHL serta temperatur yang jauh lebih rendah dari air tanah yang diambil dari mata air dan sumur bor (akuifer tertekan/dalam), (2) komposisi kimia

air tanah di daerah penelitian terdiri dari tiga tipe yaitu (a) tipe Ca-HCO<sub>3</sub> untuk air tanah dangkal, (b) tipe Na-Cl untuk air dari mata air panas dan sumur bor air panas dan (c) tipe air tanah dangkal Ca-HCO<sub>3</sub>-Cl yang merepresentasikan pencampuran air tanah dangkal dan air panas, dimana berbeda dengan air tanah dangkal, air dari mata air panas dan sumur bor air panas tidak menunjukkan adanya kandungan nitrat, dan (3) Berdasarkan karakteristik fisika-kimia dan evaluasi tipe fasies kimia air tanah, dapat diinterpretasikan bahwa air tanah di area penelitian berasal dari 2 sistem akuifer yaitu sistem akuifer bebas-dangkal yang tersusun atas batuan breksi vulkanik dan sistem akuifer tertekan-dalam yang tersusun oleh endapan Gunung Api Sumbing tua dengan kedalaman akuifer tertekan berada pada kedalaman kurang lebih 200 m dari permukaan tanah.

Selain kesimpulan di atas, fakta adanya pencampuran air tanah dangkal dan air panas memunculkan kekhawatiran bahwa bertambahnya pengeboran air panas untuk pariwisata akan meningkatkan proses pencampuran dan mempengaruhi kualitas air tanah dangkal yang dimanfaatkan oleh masyarakat ataupun sebaliknya. Penelitian selanjutnya di lokasi penelitian berupa pemantauan kimia air tanah untuk mengawasi dampak ini perlu dilakukan, lebih lanjut diperlukan pengeboran geologi dan pengukuran geofisika permukaan seperti pengukuran geolistrik 2-D untuk membuktikan model konseptual sistem akuifer di area ini serta aspek heterogenitas geologi khususnya keberadaan patahan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan dukungan dalam melaksanakan analisis laboratorium dengan menggunakan alat 850 *Professional Ion Chromatography* (IC) Metrohm di Laboratorium Pusat Geologi Departemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada.

## KONTRIBUSI PENULIS

Paper ini adalah hasil kolaborasi para penulis dengan kontribusi sebagai berikut penulis pertama melakukan pengambilan data lapangan termasuk pengambilan sampel, menganalisis sampel air tanah di laboratorium dan menginterpretasi hasil, adapun penulis kedua mendesain metode penelitian termasuk lokasi pengambilan sampel air tanah, mengevaluasi hasil analisis laboratorium kimia air tanah dan interpretasi model konseptual serta menulis dan mereview naskah publikasi, sedangkan penulis ketiga dan keempat membantu dalam mengevaluasi keterkaitan kimia air tanah dan kondisi geologi serta melakukan review naskah publikasi dan penulis kelima melakukan revisi gambar-gambar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Boulom, J., Putra, D.P.E., dan Wilopo, W. (2015). *Chemical Composition and Hydraulicconnectivity Of Springs In The Southern Slope of Merapi Volcano*, J. SE Asian Appl. Geol., Jan–Jun 2014, Vol. 6(1), pp. 1-11.
- Deon, F., Förster, H.-J., Brehme, M., Wiegand, B., Scheytt, T., Moeck, I., Jaya, M. S., dan Putriatni, D. J. (2015). *Geochemical/hydrochemical evaluation of the geothermal potential of the Lamongan volcanic field (Eastern Java, Indonesia)*, Geothermal Energy, 3, pp. 1–21. doi.org/10.1186/s40517-015-0040-6
- Erlinawati, D., Wibisana, M. R., Putra, D.P.E., dan Titisari, A. D. (2021). *Analysis Water Quality of Springs on the East Slope of*



- Mount Sumbing, Central Java, Indonesia for Sanitation Hygiene Purposes Based on the Physical and Chemical Properties. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 930, doi : 10.1088/1755-1315/930/1/012013.
- Erlinawati, D., Putra, D.P.E., dan Titisari, A.D., (2022). *The Origin of Groundwater on the East Slope of Sumbing Vulcano Using Isotope Method*. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 1039, doi:10.1088/1755-1315/1039/1/012008.
- Fathmawati, F., Fachiroh, J., Sutomo, A.H., dan Putra, D.P.E. (2018). Origin and distribution of nitrate in water well of settlement areas in Yogyakarta, Indonesia, Environmental Monitoring and Assessment, Vol.190, No.11, 628, doi: 10.1007/s10661-018-6958-y.
- Hendrayana, H., Putra, D.P.E., Setiawan, H., Indrawan, I.G.B., Budianta, W., dan Wilopo, W., (2022). Assessment of groundwater leakage source using hydrochemical data and isotopes in the Pandanduri dam tunnel, Lombok Island, Indonesia, Journal of Degraded and Mining Lands Management, Vol.10, No.1, p. 3961-3970, doi.org/10.15243/jdmlm.2022.101.3961.
- Hendrayana, H., Harijoko, A., Riyanto I, A., Nuha, A., dan Ruslisan. (2023). *Groundwater Chemistry Characterization in The South and Southeast Merapi Volcano, Indonesia*, Indonesian Journal of Geography Vol 55, No 1 (2023): 10-29, doi: 10.22146/ijg.76433.
- Hiscock K.M., dan Bense, V.F., (2014). *Hydrogeology: Principles and Practices*, 2nd ed. Wiley Blackwell, London, 552p.
- Idroes, R., Yusuf, M., Alatas, M., Subhan, Lala, A., Muhammad, dan Marwan. (2019). *Geochemistry Of Sulphate Pring In The Ie Jue Geothermal Areas At Aceh Besar District, Indonesia*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 523(1). doi : 10.1088/1757-899X/523/1/012012.
- Igbal, M., Juliarka, B.R., Ashuri, W., dan Al Farishi, B. (2019), *Hydrogeochemistry of Natar and Cisarua Hot springs in South Lampung, Indonesia*, Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology, Vol 04, No 03, doi: 10.25299/jgeet.2019.4.3.4070.
- Jumhari, Hadian, M.S.D., Zakaria, Z., dan Hendarmawan. (2019), *Kontrol Geologi Terhadap Perubahan Kimia Air Tanah Pada Sistem Akuifer Vulkanik di Lereng Timur Gunung Ciremai Jawa Barat*, Dinamika Rekayasa, Vol.15, No.2, p.117-128.
- Kristmannsdóttir, H., Sveinbjörnsdóttir, Á.E. dan Sturludóttir, Á. (2005). *Geochemistry, Origin and Balneological Properties of a Geothermal Brine at Hofstadir near Stykkishólmur, Iceland*. Proceedings World Geothermal Congress 2005. pp.1-5.
- Luse, B., dan Makonga, A. M. (2019). *Geochemical Analysis of Lilida Geothermal Spring*. Bulletin de La Societe Royale Des Sciences de Liege, 88, pp. 44–55. doi : 10.25518/0037-9565.8477.
- Maheswari, A.S. (2022). *Karakteristik Hidrokimia Mata Air Panas dan Air Tanah di Desa Sumberarum, Kecamatan Tempuran, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah*. (Skripsi S1). Yogyakarta: S1 Teknik Geologi UGM (Tidak dipublikasikan).
- Martadiastuti, V., Harijoko, A., Warmada, I.W., dan Yonezu, K. (2017). *Hydrogeochemical Characterization of Geothermal Water in Arjuno-Welirang, East Java, Indonesia*. Journal of Applied Geology, vol. 2(2), 2017, pp. 59–69, doi : 10.22146/jag.39979
- Ngansom, W., dan Dürrast, H. (2021). *Geochemical Characterization of Hot Spring Waters From Southern Thailand As The Base For Geothermal Energy Utilization*. Journal of Environment Asia, 14(3), 37–49. doi : 10.14456/ea.2021.21.
- Putra, D.P.E, Halim, D., Widagdo, S.S., dan Atmaja R.R.S. (2020). *Degradation of groundwater quality due to the occurrence of salty tasted water in Bayat District, Klaten, Central Java, Indonesia*, J. Degraded and Mining Lands Management, 8(1), p. 2525-2536. doi:10.15243/jdmlm.2020.081.2525
- Ratna, S.A., Putra, D.P.E., dan Warmada, I.W. (2015). *Kimia Air Tanah di Cekungan Air Tanah Magelang-Temanggung Bagian Barat, Kabupaten Temanggung dan Magelang, Provinsi Jawa Tengah*. Paper dipresentasikan pada Prosiding Seminar Nasional Kebumian ke-8, Hal. 322–333, 2015, Yogyakarta.
- Maria, R., Satrio, Iskandarsyah, T.Y.W.M., Suganda, B.M., Delinom, R.M., Marganingrum, D., Purwoko, W., Sukmayadi, D., dan Hendarmawan, H. (2020). *Groundwater Recharge Area Based on Hydrochemical and Environmental Isotopes Analysis in the South Bandung Volcanic Area, Indones*. J. Chem., 2021, 21 (3), p. 609 – 625. doi: 10.22146/ijc.58633
- Saputra, S.E.G., Putra, D.P.E., Atmaja, R.R.S dan Wilopo, W. (2017). *Pemodelan Aliran Air Tanah Pada Cekungan Air Tanah di Antara Beberapa Gunung Api; Studi Kasus Cekungan Air Tanah Magelang-Temanggung, Jawa Tengah, Indonesia*. Paper dipresentasikan pada Prosiding PIT PAAI Ke-1, Hal 1-10, 2017, Bandung.
- Satrio, S., Prasetyo, R., Syah Alam, B. Y. C. S. S., Iskandarsyah, T. Y. W. M., Muhammadiyah, F., Hadian, M. S. D., dan Hendarmawan, H. (2020). *Isotope And Geochemistry Characterization Of Hot Springs And Cold Springs Of Sembalun – Rinjani Area, East Lombok, West Nusa Tenggara – Indonesia*. Indonesian Journal of Chemistry, 20(6), 1347–1359. doi : 10.22146/ijc.50790.
- Sircar, A., Yadav, K., Bish, N., dan Oza, H.G. (2022). *Geochemical characterization of geothermal spring waters occurring in southern part of Gujarat and West Coast Geothermal Province of Maharashtra, India*, Sustainable Water Resources Management, Vol. 8, Article number: 7, doi.org/10.1007/s40899-021-00597-7.
- Ta, M., Zhou, X., Guo, J., Wang, Y., Wang, X., dan Xu, Y. (2019). *Hydrogeochemical characteristics and formation of the hot springs occurring in the plunging ends of an anticline in Chongqing, Eastern Sichuan Basin, China*. Environmental Earth Sciences 468p. doi: 10.1007/s12665-019-8486-7.
- Tala, W.S., Haryanto, A.H., Hutabarat, J., dan Gentana. D. (2020). *Karakteristik Geokimia Air Panas Dan Perkiraan Temperatur Bawah Permukaan Panas Bumi Daerah Oma Dan Tulehu Kabupaten Maluku Tengah*, Padjadjaran Geoscience Journal. Vol. 4, No. 4, Agustus 2020: hal. 338-348
- Todd, D.K., and Mays, L.W., (2005), *Groundwater Hydrology*: Hoboken, NJ, John Wiley & Sons inc. 636p.
- Torres-Ceron, D., Acosta-Medina, C., dan Restrepo-Parra, E. (2019). *Geothermal and mineralogic analysis of hot springs in the Puracé-La Mina Sector in Cauca, Colombia*. Journal of Geofluids. Volume 2019, Article ID 3191454, doi: 10.1155/2019/3191454.
- Toulier, A., Baud, B., de Montety, V., Lachassagne, P., Leonardi, V., Pistre, S., Dautria, J-M., Hendrayana, H., Fajar, M.H.H., Muhammad, A.A., Beon, O., dan Jourde, H. (2019). *Multidisciplinary study with quantitative analysis of isotopic data for the assessment of recharge and functioning of volcanic aquifers: Case of Bromo-Tengger volcano, Indonesia*. Journal of Hydrology: Regional Studies Vol.26 (2019) 100634. doi: 10.1016/j.ejrh.2019.100634
- Venkatramanan, S., Chung, S.Y., Selvam, S., Son, J.H., dan Kim, Y.J. (2017) *Interrelationship between geochemical elements of sediment and groundwater at Samrak Park Delta of Nakdong River Basin in Korea: multivariate statistical analyses and artificial neural network approaches*. Environmental Earth Sciences 76(13):456. doi: [10.1007/s12665-017-6795-2](https://doi.org/10.1007/s12665-017-6795-2).
- Wang, X., Wang, G. L., Gan, H. N., Liu, Z., dan Nan, D.W. (2018), *Hydrochemical Characteristics and Evolution of Geothermal Fluids in the Chabu High-Temperature Geothermal System, Southern Tibet*, Geofluids, Volume 2018, Article ID 8532840, 15 pages, doi: 10.1155/2018/8532840.
- Wilopo, W., Putra, D.P.E., Setiawan, H., dan Susatio, R. (2019) *Groundwater flow patterns and hydrochemical facies of Kendal groundwater basin, Central Java Province, Indonesia*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 361(1):012002.