

Pemanfaatan Langsung Air Panas Bumi Gunung Ungaran untuk Terapi Kesehatan Masyarakat: Pendekatan Geokimia dan Nilai Geohéritage

Direct Use of Geothermal Hot Springs from Mount Ungaran for Community Health Therapy: Geochemical Analysis and Geohéritage Value

Brany Kurnianto^{1,2*}, Emi Sukiyah³, Agus Didit Haryanto³, Budi Muljana³

^{1*}Program Doktorat, Universitas Padjadjaran Bandung

^{2*}Program Studi Teknik Geologi, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

³Departemen Geosains, Universitas Padjadjaran Bandung

Email Korespondensi : agustinus23002@mail.unpad.ac.id

Email : emi.sukiyah@unpad.ac.id

Email : agus.didit.haryanto@unpad.ac.id

Email : budi.muljana@unpad.ac.id

ABSTRAK

Kawasan panas bumi Gunung Ungaran, Jawa Tengah, memperlihatkan berbagai manifestasi hidrotermal aktif seperti mata air panas Gedongsongo, Nglimut, dan Diwak yang memiliki potensi tinggi untuk pemanfaatan langsung (direct use), khususnya dalam bidang kesehatan masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi geokimia air panas bumi di kawasan tersebut dan menilai potensinya sebagai media terapi kesehatan berbasis pendekatan geohealth dan geohéritage. Hasil pengukuran lapangan menunjukkan suhu air 38–45°C, pH netral–sedikit basa, dan konduktivitas sedang. Analisis laboratorium mengonfirmasi bahwa air panas Ungaran didominasi tipe Na–HCO₃ dengan kandungan signifikan SiO₂, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, dan SO₄²⁻. Komposisi geokimia tersebut berperan dalam proses regenerasi kulit, relaksasi otot, peningkatan sirkulasi darah, dan potensi penyembuhan penyakit kulit, sebagaimana didukung oleh hasil wawancara pengguna mata air panas yang melaporkan perbaikan keluhan kulit dan penurunan stres setelah terapi. Selain aspek geokimia, keberadaan situs Candi Derekan sebagai bukti arkeogeologis pemanfaatan air panas sejak masa kerajaan kuno memberikan dimensi geohéritage dan *geo-culture* yang signifikan. Integrasi antara nilai ilmiah, budaya, dan manfaat kesehatan ini menunjukkan bahwa sistem panas bumi Ungaran tidak hanya penting sebagai sumber energi, tetapi juga sebagai aset geohéritage yang mendukung kesejahteraan masyarakat. Temuan ini membuka peluang pengembangan geowisata kesehatan berkelanjutan berbasis komunitas, sekaligus memperkuat konservasi sumber daya panas bumi sebagai bagian dari warisan geologi nasional.

Kata kunci: air panas bumi, geokimia, Gunung Ungaran, terapi kesehatan, geohéritage, geowisata berkelanjutan.

ABSTRACT

The geothermal area of Mount Ungaran, Central Java, hosts several active hydrothermal manifestations—such as the Gedongsongo, Nglimut, and Diwak hot springs—that exhibit strong potential for direct-use applications in community health. This study characterizes the geochemistry of these geothermal fluids and evaluates their therapeutic relevance within a geohealth and geohéritage framework. Field measurements indicate temperatures of 38–45°C and neutral to slightly alkaline pH, while laboratory analyses show a dominant Na–HCO₃ water type enriched in SiO₂, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, and SO₄²⁻. These chemical attributes support natural therapeutic functions, including skin regeneration, muscle relaxation, and improved circulation, corroborated by user interviews reporting reduced skin irritation and stress after hot-spring bathing. The identification of the Derekan Temple site as historical evidence of geothermal use adds cultural and héritage value to this geothermal system. Overall, the findings demonstrate that Ungaran's geothermal manifestations serve not only as an energy resource but also as a significant geohéritage asset with measurable health benefits. The study underscores the potential for developing sustainable geothermal health tourism while supporting long-term conservation of this geological resource.

Keyword : geothermal hot springs, geochemistry, Mount Ungaran, health therapy, geohéritage, sustainable geotourism.

PENDAHULUAN

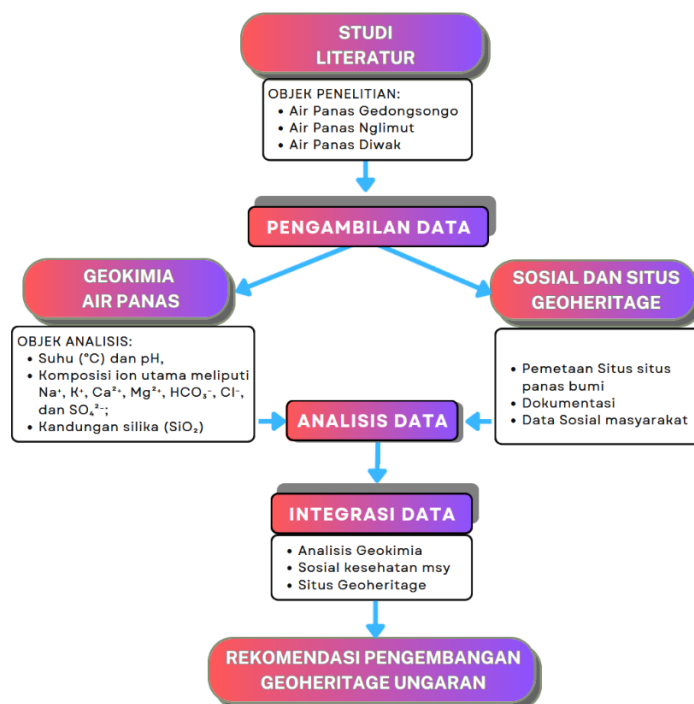
Sistem panas bumi Gunung Ungaran di Jawa Tengah merupakan salah satu manifestasi hidrotermal aktif yang memiliki potensi pemanfaatan langsung (*direct use*) selain energi listrik. Beberapa mata air panas seperti di Gedongsongo, Nglimut, dan Banaran telah lama dimanfaatkan masyarakat untuk aktivitas mandi dan relaksasi. Secara geologi, sistem panas bumi ini terbentuk akibat interaksi air meteorik dengan batuan vulkanik yang masih panas, menghasilkan fluida hidrotermal kaya mineral terlarut.

Pemanfaatan langsung panas bumi untuk kesehatan dan kesejahteraan masyarakat merupakan bentuk inovasi pengembangan geoheritage yang mulai berkembang di berbagai negara (Gudmundsson, 2021; Baldi & Menconi, 2022). Kandungan bikarbonat dan natrium diketahui membantu meningkatkan mikrosirkulasi kulit dan relaksasi otot, sementara kandungan silika berperan dalam regenerasi jaringan epitel. Dengan karakter geokimia yang stabil, air panas bumi berpotensi sebagai media terapi alami atau balneoterapi. Dalam konteks Indonesia, pemanfaatan panas bumi umumnya masih berorientasi pada energi listrik, sementara riset yang mengaitkan komposisi kimia fluida panas bumi dengan manfaat kesehatan masyarakat masih terbatas (Rahardjo et al., 2020; Suherman et al., 2022). Padahal, pendekatan tersebut dapat mendukung pengembangan wisata kesehatan berbasis geologi (*geohealth tourism*) dan memperkuat nilai warisan geologi lokal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi karakteristik geokimia air panas bumi di beberapa manifestasi Gunung Ungaran; (2) mengkaji hubungan antara komposisi kimia dengan potensi manfaat kesehatan; dan (3) menilai potensi pengembangan geoheritage kesehatan berbasis partisipasi masyarakat sekitar.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan model pemanfaatan panas bumi yang berkelanjutan, tidak hanya dari aspek energi tetapi juga sosial, kesehatan, dan konservasi geologi. Integrasi pendekatan geokimia–kesehatan masyarakat–geoheritage menjadi langkah strategis untuk memperkuat kontribusi geosains dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat di kawasan vulkanik aktif Indonesia.

METODE

Penelitian mengenai pemanfaatan air panas bumi di kawasan Gunung Ungaran dilakukan dengan memadukan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui kegiatan survei serta pemetaan lapangan pada beberapa manifestasi panas bumi, pengukuran karakteristik fisik air panas, pengambilan sampel untuk analisis geokimia, serta wawancara langsung dengan masyarakat setempat dan pengunjung lokasi pemandian. Sementara itu, data sekunder mencakup telaah literatur dan hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan kondisi hidrogeologi dan potensi pemanfaatan air panas Gunung Ungaran. (Gambar 1)



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

1. Survei dan Pemetaan Lapangan

Kegiatan survei dan pemetaan di kawasan panas bumi Gunung Ungaran dilakukan melalui observasi langsung untuk memperoleh data primer, mencakup kondisi morfologi, parameter fisik, serta data geologi dan lingkungan. Data yang dikumpulkan meliputi peta topografi, sebaran batuan, dan laju infiltrasi di sekitar manifestasi panas bumi, disertai pendataan jumlah pengunjung dan wawancara mengenai pola kunjungan serta persepsi masyarakat. Hasil survei disajikan dalam peta tematik dan dokumentasi lapangan. Peralatan yang digunakan antara lain meteran, GPS, kompas dan palu geologi, buku lapangan, peta rupa bumi, plastik sampel, serta larutan HCl 0,5 N.

2. Pengambilan Sampel Air Panas Bumi

Pengambilan sampel air panas di kawasan Gunung Ungaran dilakukan secara langsung pada titik keluarnya sumber air panas, tepat di bagian tengah kolam manifestasi untuk memperoleh sampel yang representatif. Sampel air panas kemudian dimasukkan ke dalam botol sampel dan segera mungkin dibawa ke laboratorium untuk uji kandungan air panas tersebut.

3. Analisis Kimia Air Panas Bumi

Analisis geokimia dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik kimia air panas bumi Ungaran serta menentukan tipe fluida dan proses hidrotermalnya. Sampel diambil dari manifestasi utama—Gedongsongo, Diwak, dan Kaliulo—dengan pengukuran suhu, pH, dan konduktivitas secara langsung analisis geokimia dilakukan untuk menentukan karakteristik kimia air panas bumi Ungaran, tipe fluida, dan proses hidrotermalnya. Sampel dari Gedongsongo, Diwak, dan Kaliulo diukur langsung untuk suhu, pH, dan konduktivitas, lalu dianalisis di laboratorium untuk kandungan ion utama dan unsur pelacak. Hasilnya digunakan untuk menafsirkan asal fluida, tingkat interaksi batuan–air, serta potensi pemanfaatannya bagi terapi kesehatan.

4. Pendataan Pengguna Manfaat Air Panas Bumi

Wawancara dilakukan terhadap masyarakat sekitar, pengelola pemandian air panas, serta pengunjung guna memperoleh informasi mengenai pemanfaatan air panas bumi secara sosial dan ekonomi. Pertanyaan difokuskan pada pola kunjungan, persepsi manfaat kesehatan serta kesadaran masyarakat terhadap pelestarian situs-situs geoheritage disekitar air panas bumi. Data hasil wawancara dan pendataan situs geoheritage dikompilasi dan dianalisis secara deskriptif kualitatif untuk menggambarkan hubungan antara nilai sosial-budaya dengan potensi ekonomi wisata kesehatan berbasis geotermal di Gunung Ungaran. Temuan ini menjadi dasar dalam merumuskan rekomendasi pengelolaan berkelanjutan dan peningkatan nilai tambah air panas bumi bagi kesejahteraan masyarakat setempat.

5. Pendataan Sebaran Situs Geoheritage

Dari perspektif geoheritage, keberadaan situs-situs budaya seperti kompleks Candi Gedongsongo, Situs Derekan dan Situs Candi Ngempon memperkuat nilai integratif antara warisan geologi dan sejarah peradaban manusia. Letak candi-candi tersebut yang berdekatan dengan manifestasi air panas menunjukkan adanya pemanfaatan sumber panas bumi sejak masa kuno, kemungkinan sebagai tempat ritual pemurnian dan penyembuhan. Air panas yang muncul di sekitar kompleks tersebut secara simbolik maupun fungsional menjadi bagian dari sistem budaya yang menghubungkan manusia dengan alam. Situs Derekan di Desa Diwak, misalnya, menyajikan perpaduan antara sumber daya geotermal alami dan situs arkeologi yang dapat diinterpretasikan sebagai lanskap geokultural, tempat interaksi manusia dengan lingkungan vulkanik berlangsung secara berkelanjutan.

HASIL DAN ANALISIS

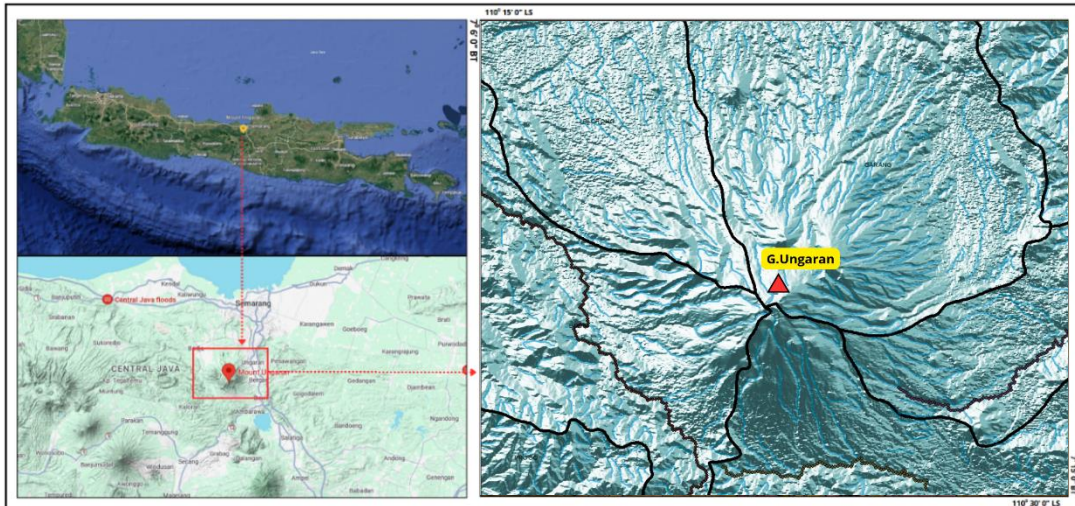
1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Desa Gedongsongo, yang berada di lereng barat Gunung Ungaran, Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Kawasan ini merupakan salah satu zona manifestasi panas bumi aktif yang menampilkan sejumlah mata air panas alami di sekitar kompleks Candi Gedongsongo, pada ketinggian sekitar 1.200–1.300 meter di atas permukaan laut. Secara umum, daerah ini memiliki morfologi bergelombang hingga curam dengan bentuk lahan berupa lereng gunung vulkanik dan lembah aliran sungai-sungai kecil yang mengalir ke arah barat dan selatan.

Kondisi mata air panas di lokasi penelitian menunjukkan ciri fisik yang jernih dengan suhu cukup tinggi, disertai bau belerang ringan namun tidak menyengat, serta rasa air yang sedikit asin akibat kandungan mineral

Pemanfaatan Langsung Air Panas Bumi Gunung Ungaran untuk Terapi Kesehatan Masyarakat: Pendekatan Geokimia dan Nilai Geoheritage (Brany Kurnianto, Emi Sukiyah, A. D. Haryanto, Budi Muljana)

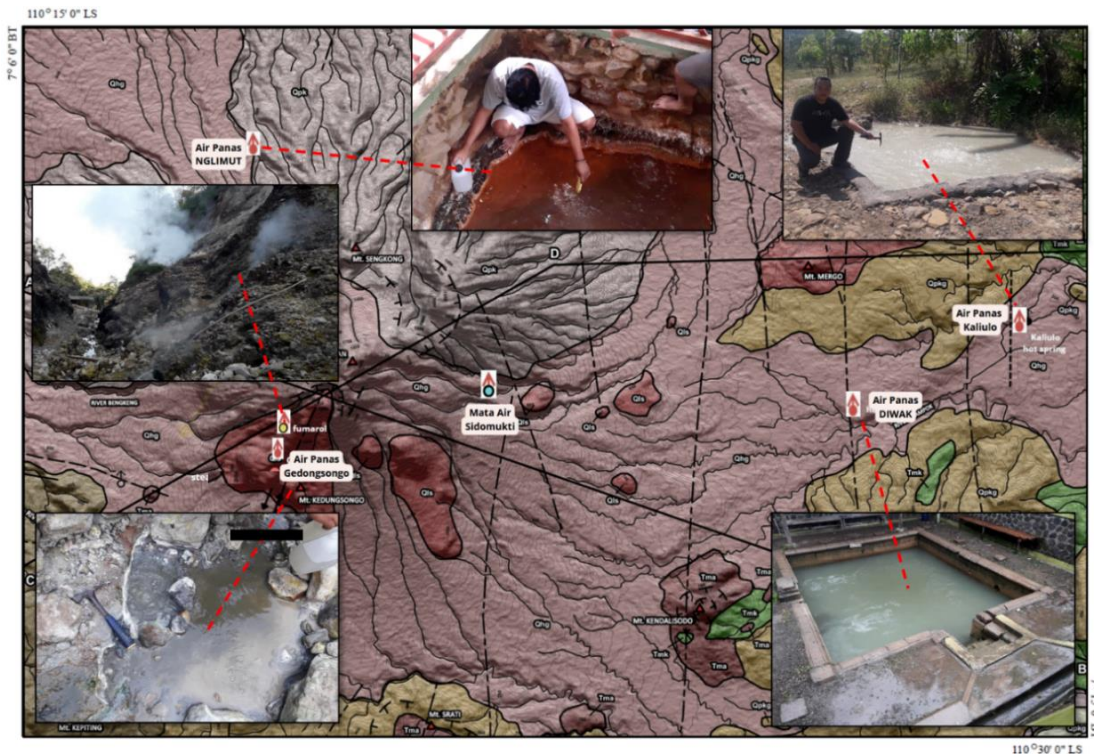
terlarut. Meskipun memiliki potensi besar sebagai objek geowisata dan media terapi kesehatan alami, pengelolaan sumber air panas di Gedongsongo masih terbatas dan belum dilakukan secara optimal oleh masyarakat maupun pihak pengelola wisata setempat. Hal ini menjadikan kawasan tersebut menarik untuk dikaji lebih lanjut dari aspek geokimia, potensi pemanfaatan langsung, dan pengembangan geowisata berbasis panas bumi. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Semarang berskala 1:100.000, lokasi penelitian masuk pada Formasi Batuan Vulkanik Kuartar seperti yang tersaji dalam (Gambar 2.)



Gambar 2. Peta daerah Gunung Ungaran dan sekitarnya, Kecamatan Bandungan, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah

2. Kualitas dan Fisik Air Panas Bumi

Salah satu Manifestasi panasbumi di daerah Gedongsongo ini terdiri dari fumarol, mataair panas, mataair hangat, bualan gas (*bubble gas*) dan batuan teralterasi. Suhu udara di daerah ini 24,9° C. Manifestasi tersebut terletak di sepanjang sungai item. Mata air panas dijumpai di sekitar fumarola gedongsongo, mataair panas ini mempunyai air keruh dengan warna lumpur abu-abu keputihan, menempati pada bagian lembah sungai bagian barat dan timur. Suhu berkisar 80° C – 90° C.



Gambar 3. Peta Geologi dan Sebaran Mata Air Panas Gunung Ungaran

Manifestasi panasbumi Gunung Ungaran sebagian telah dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai obyek wisata (candi Gedongsongo), sebagai kolam pemandian air hangat (Diwak) dan pemanfaatan air untuk membuat kerupuk beras atau “legendar” (Kaliulo). Sedangkan di lereng sebelah utara gunung ungaran terdapat mata air panas nglimut berbatasan dengan daerah kendal jawa tengah. Komplek Panasbumi Gunung Ungaran mempunyai manifestasi panasbumi yang terletak di daerah Gedongsongo, Nglimut dan Diwak termasuk wilayah Kabupaten Semarang.



Gambar 4. Masyarakat memanfaatkan air panas bumi yang dipercaya baik untuk kesehatan kulit

Selanjutnya dalam penelitian ini dilakukan pengambilan sampel air panas/hangat, serta isotop dari lokasi manifestasi panas bumi gunung ungaran. Analisis fluida geokimia geotermal menggunakan geokimia air digunakan untuk menentukan asal fluida, tipe air dan suhu reservoir geothermal.

Tabel 1. Komposisi kimia mataair panas di Gedongsongo, Diwak dan nglimut (hasil analisis laboratorium PT. Geoservices)

SENYAWA/UNSUR	Air Panas Gedongsongo	Air Panas Diwak	Air Panas Nglimut
Na ⁺	14.96	169.35	265
K ⁺	5.63	33.68	27
Li ⁺	0.01	0.2	-
Ca ⁺⁺	31.17	176.26	180
Mg ⁺⁺	12.35	141.50	143.37
Fe ⁺⁺⁺	7.03	0.89	0.73
As ⁻⁻⁻	0.00	0.10	0.01
SiO ₂	114.80	151.85	42.03
B	0.18	6.19	-
HCO ₃ ⁻	0	1516.83	1817.80
Cl ⁻	0.85	98.69	50.10
SO ₄ ⁻⁻	200	1.63	7.00
F ⁻	0.01	0	0
pH	3.18	6.70	5.60

Dari Tabel di atas terlihat bahwa senyawa sulfat sangat mendominasi komposisi air panas di daerah Gedongsongo dengan nilai daya hantar listrik yang sangat besar. Selain senyawa sulfat maka air panas di sini juga mengandung silika dan natrium dalam jumlah cukup besar. Hal ini mungkin dipengaruhi oleh batuan alterasi yang banyak berubah menjadi mineral lempung. Air panas di Gedongsongo ini termasuk air sulfat dengan kondisi yang sangat asam.

Air panas di Diwak dan derekan termasuk tipe air karbonat di mana komposisi senyawa bikarbonat sangat dominan menyusun air tersebut. Selain itu ion natrium, kalsium, magnesium dan klor juga menyusun komposisi air panas di Diwak dengan konsentrasi yang hampir seimbang. Sementara itu data kimia air panas dari Kaliulo didominasi oleh kandungan natrium, bikarbonat dan klorida, dengan tipe air klorida dan keasaman yang netral.

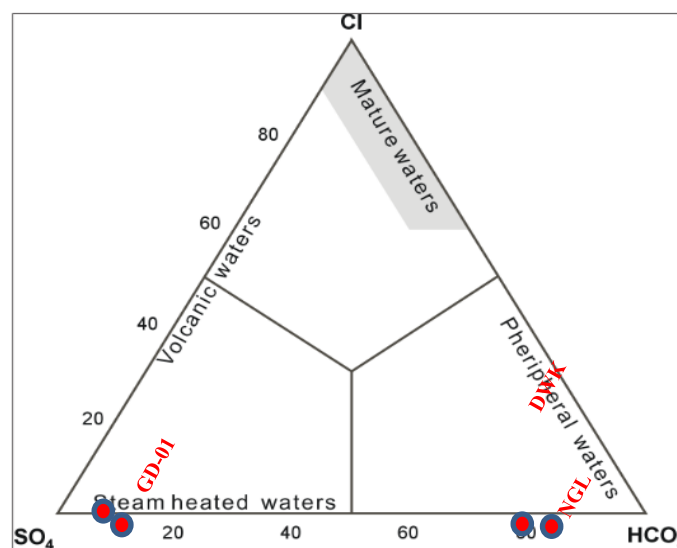
3. Karakteristik Tipe Air Panas Bumi

Tipe air panas bumi dianalisis menggunakan diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ (Giggenbach, 1988). Unsur panas bumi yang dibutuhkan adalah unsur Klorida, Sulfat, dan Bikarbonat. Perhitungan nilai persentase unsur Cl-SO₄-HCO₃ dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Prosentase Cl-SO₄-HCO₃

No	Lokasi	Cl (ppm)	SO ₄ (ppm)	HCO ₃ (ppm)	Total (Cl + SO ₄ + HCO ₃) (ppm)	% Cl	% SO ₄	% HCO ₃
1	GD-01	0,76	350,68	155,25	506,69	0,15	69,21	30,64
2	GD-02	0,85	200,00	0,00	200,85	0,42	99,58	0,00
3	DRK	98,69	1,63	1516,83	1617,15	6,10	0,10	93,80
4	DWK	91,85	0,84	1394,11	1486,80	6,18	0,06	93,77
5	NGL	50,10	7,00	1817,80	1874,90	2,67	0,37	96,95

Air bertipe klorida merupakan indikasi bahwa airnya berhubungan dengan fluida panas dari reservoir panas bumi. Sedangkan air bertipe bikarbonat biasanya air yang berhubungan dengan air permukaan. Sehingga air panas kaliulo diperkirakan merupakan air yang berasal dari reservoir panas bumi, namun dalam perjalanannya menuju permukaan sedikit mengalami pencampuran dengan air permukaan. Air bikarbonat diwakili oleh kode sampel NGL, DRK dan sampel DWK. Dengan kandungan unsur Ca (159 – 265 ppm), sedangkan air sulfat dimiliki oleh sampel GD-01 dan GD-02. Jenis air sulfat mengandung 200-350 ppm SO₄, air bikarbonat memiliki konsentrasi HCO₃ 58,6-1824 ppm, sedangkan air klorida memiliki kandungan Cl (1817 ppm). Tingginya kandungan klorida pada air panas dipengaruhi oleh air yang terjebak di sedimen vulkanik marin yang berumur tersier.



Gambar 5. Hasil plotting data kimia air Ungaran pada diagram Cl-HCO₃-SO₄.

Hasil plotting data kimia air pada diagram Cl-HCO₃-SO₄ (Gambar.5) menunjukkan bahwa tipe air atau fluida panas bumi di Ungaran meliputi: air klorida, bikarbonat, dan sulfat.

4. Geokimia Air Panasbumi Terhadap Terapi Kulit

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa suhu mata air panas di lokasi penelitian berada pada rentang yang aman dan sesuai untuk aktivitas pemandian maupun terapi. Potensi ini diperkuat oleh komposisi kimianya, terutama kandungan bikarbonat (HCO₃⁻) dan natrium (Na⁺), yang secara umum diketahui bermanfaat bagi kesehatan kulit dan membantu proses penyembuhan keluhan dermatologis. Kandungan sulfat (SO₄²⁻) yang cukup tinggi (±160 mg/L) juga memberikan efek antiinflamasi dan antimikroba, sehingga relevan untuk terapi infeksi dan iritasi kulit. Meskipun konsentrasi magnesium (Mg²⁺) dan kalium (K⁺) relatif rendah, keberadaan unsur-unsur tersebut tetap berkontribusi terhadap regenerasi kulit.

Kandungan anion sulfat (SO₄²⁻) pada manifestasi panasbumi ungaran rata rata konsentrasi sekitar 140 ppm atau sekitar 139 mg/L turut memperkuat fungsi terapeutik air panas Ungaran sebagai antiseptik alami untuk pengobatan infeksi kulit. Unsur mineral minor seperti magnesium (Mg²⁺) dan kalium (K⁺) juga berperan melengkapi efek penyembuhan dengan meningkatkan elastisitas dan kesehatan kulit. Kombinasi suhu dan kandungan mineral yang seimbang menjadikan air panas bumi Ungaran efektif dalam balneoterapi dermatologis alami. Pemanfaatan ini perlu tetap memperhatikan rekomendasi medis agar manfaatnya optimal tanpa menimbulkan efek samping.

Temuan lapangan melalui wawancara dengan pengguna menunjukkan bahwa sebagian masyarakat merasakan perbaikan pada keluhan kulit, terutama skabies dan iritasi ringan, setelah melakukan terapi berendam secara rutin. Pengguna juga melaporkan sensasi kulit lebih halus dan pengurangan rasa gatal setelah sesi terapi. Meski demikian, pemanfaatan air panas tetap perlu memperhatikan aspek medis, terutama bagi individu dengan kondisi kulit tertentu. Secara keseluruhan, kandungan mineral dan sifat fisik air panas mendukung penerapannya dalam balneoterapi sebagai bagian dari pemanfaatan kesehatan masyarakat berbasis sumber daya geotermal.

5. Nilai Geoheritage dan Keterkaitan Situs Candi dengan Pemandian Air Panas

Kawasan Gunung Ungaran merupakan salah satu kompleks vulkanik aktif yang tidak hanya memiliki potensi geotermal tinggi, tetapi juga menyimpan nilai geoheritage yang signifikan. Geoheritage di kawasan ini tercermin dari keterpaduan antara unsur geologi, budaya, dan kesehatan alami, yang menjadikan wilayah ini unik dibanding kawasan panas bumi lain di Jawa Tengah. Manifestasi air panas seperti di Desa Diwak dan Situs Pemandian Derekan terbentuk akibat aktivitas hidrotermal yang berhubungan langsung dengan sistem vulkanik Ungaran. Proses ini menghasilkan mata air panas dengan kandungan mineral alami, seperti natrium (Na⁺), bikarbonat (HCO₃⁻), dan sulfat (SO₄²⁻), yang berperan penting dalam terapi kesehatan.



Gambar 6. Situs Permandian Air Panas Derekan, Desa diwak, Pringapus. dipercaya sebagai tempat pemandian suci bagi bangsawan zaman kerajaan.



Gambar 7. Situs Candi Ngempon, Desa Diwak, Pringapus. ditemukan tahun 1952 oleh petani ,pernah menjadi pusat pendidikan dan pelatihan spiritual.

Nilai geohéritage dari pemandian air panas dan situs-situs kuno di Gunung Ungaran mencerminkan potensi warisan geologi yang hidup (*living geological heritage*) karena masih dimanfaatkan masyarakat hingga saat ini untuk terapi kesehatan dan wisata alami. Pemanfaatan ini bukan hanya aspek ekonomi, tetapi juga bentuk pelestarian nilai ilmiah dan budaya kawasan. Dengan pendekatan geokimia, karakteristik mineral air panas dapat dijadikan dasar ilmiah dalam pengembangan geowisata medis, sementara nilai geohéritage memperkuat aspek edukatif dan konservatifnya. Oleh karena itu, sinergi antara ilmu kebumih, kesehatan, dan kebudayaan lokal menjadi kunci utama dalam pengelolaan berkelanjutan kawasan panas bumi Gunung Ungaran sebagai warisan geologi dan pusat terapi alami masyarakat.

KESIMPULAN

Pemanfaatan langsung air panas bumi Gunung Ungaran menunjukkan bahwa kawasan ini memiliki potensi terapeutik dan nilai geohéritage yang signifikan. Analisis geokimia mengonfirmasi bahwa air panas bertipe $\text{Na-HCO}_3\text{-SO}_4$, dengan dominasi ion Na^+ , HCO_3^- , dan SO_4^{2-} yang berperan dalam manfaat kesehatan seperti penyembuhan penyakit kulit, relaksasi, dan peningkatan kualitas kebugaran masyarakat. Profil kimia ini, ditambah dengan suhu permukaan yang sesuai untuk balneoterapi, memperkuat fungsi air panas sebagai media terapi alami yang telah dimanfaatkan secara turun-temurun.

Selain aspek ilmiah, nilai geohéritage kawasan ini tercermin dari keberadaan situs-situs sejarah seperti Gedongsongo, Pemandian Derekan, dan Diwak yang menjadi bukti pemanfaatan geotermal sejak masa kuno. Integrasi proses geologi aktif, karakteristik hidrotermal, dan praktik budaya menjadikan Gunung Ungaran sebagai geohéritage kompleks yang memiliki nilai ilmiah, edukatif, ekonomi, dan kultural. Dengan demikian, pendekatan geokimia yang dipadukan dengan pelestarian geohéritage memberikan dasar kuat bagi pengembangan pemanfaatan langsung air panas bumi secara berkelanjutan untuk terapi kesehatan masyarakat sekaligus mendukung pengembangan geowisata berbasis kesehatan di Jawa Tengah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Emi Sukiyah, Prof. Budi Muljana dan Dr. Agus Didit selaku Dosen Promotor serta seluruh masyarakat di Desa Gedongsongo dan Desa Diwak, Kecamatan Pringapus, Kabupaten Semarang – bawen, Jawa Tengah yang telah memberikan kesempatan untuk menyelesaikan penelitian ini. Saran dan kritik diharapkan untuk membuat artikel ini menjadi sempurna, karena artikel ini masih jauh dari kata sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Giggenbach, W. F., "Geothermal Solute Equilibria, Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators," *Geochemical Cosmochemical Acta*, vol.52, 2749-2765, 1988.
- [2] Hochstein, M. P. dan Browne, P. R. L., Surface Manifestation of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources, In *Encyclopedia of Volcanoes*, H.Sigurdsson, B.F. Houghton, S.R., McNutt, H., Rymer dan J. Stix (eds.), Academic Press, 2000.
- [3] Nicholson, Keith, *Geothermal Fluids*: Springer Verlag. Germany, 1993.
- [4] Nikita, E Tsourelis, Alternative treatment of psoriasis with balneotherapy using Leopoldine spa water. Italy: Institute of Dermatological Sciences, University of Siena, Siena, 2002.
- [5] Saptadji, Nenny Miryani, "Pemanfaatan Fluida Panasbumi," Bandung: Teknik Panasbumi ITB, 1996.
- [6] Sari, R. J., "Potensi Panas Bumi Gedongsongo Lereng Selatan Gunung Ungaran Jawa Tengah Berdasarkan Analisis Geosains," *Jurnal Offshore*, 2(1), 2018.
- [7] SAS, Senem, "The Effects Of Balneotherapy On Acute, Process-Related, And Cumulative Peripheral Cardiac Responses And Pulmonary Functions In Patients With Musculoskeletal Disorders," *Turkish Journal of Medical Sciences*, Turki: Training Research Hospital, Ahi Evran University, 2016.
- [8] Wahyudi, et al., "Ke prospekkan Panas Bumi Gunung Ungaran Berdasarkan Analisis Geosain Terpadu," *Buletin Sumber Daya Geologi*, 6(3), 2011.
- [9] Marin, J., et al., "Assessing Geotourism Aspects of Ungaran Geothermal Areas for Promoting Sustainable Energy through Volcano-Geothermal Tourist Destination," *Remote Sensing*, 13(3), p. 512, 2023.
- [10] Sugiharto, Y. E., et al., *The Geothermal Manifestations and Potential of Ungaran, Indonesia*, Proceedings of World Geothermal Congress, 2015.
- [11] Lund, J. W., & Boyd, T. L., "Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review," *Geothermics*, 60, pp. 66–93, 2016.
- [12] Franco, A., & Vaccaro, M., "Direct Uses of Geothermal Energy: Sustainability and Integration into Local Economies," *Renewable Energy Reviews*, 131, pp. 1039–1052, 2020.