

Studi Hidrogeokimia Air Tanah di Daerah Kebumen Bagian Barat, Indonesia

Setia Pambudi^{1*}, Budi Sulistijo², Dwi Fitri Yudiantoro¹, Intan Paramita Haty¹

¹Jurusan Teknik Geologi, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Jl. Padjajaran No. 104, Sleman, Yogyakarta, 55283

²Program Studi Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No.10, Bandung, 40132

*Email: setia.pambudi@upnyk.ac.id

Abstrak - Studi penilaian hidrogeokimia air tanah telah dilakukan di Kebumen bagian barat yang dicirikan dengan fitur karstnya berdasarkan parameter fisikokimia (pH, konduktivitas elektrik, zat padat terlarut, kesadahan, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , K^+ , Na^+ , Li^+ , and NH_4^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^- , and NO_3^-). Data sampel air diambil dari 25 sumber air tanah dangkal berupa mata air, goa basah dan sumur. Data fisikokimianya mengindikasikan hanya ada kontaminasi alami maupun dari manusia yang sangat rendah. Dari diagram Piper ditunjukkan bahwa fasies air tanah yang berada di daerah ini adalah kalsium-magnesium bikarbonat yang mengindikasikan efek litologi karbonatan yang sangat kuat ke air tanah. Diagram Durov menunjukkan bahwa air tanah di daerah studi hanya mengalami pertukaran ion yang sangat rendah yang mengindikasikan kemurnian air tanah ini dari dampak kontaminasi alami maupun dampak antropogenik.

Kata kunci: hidrogeokimia, air tanah, karst, Kebumen

Abstract - A groundwater hydrogeochemistry assessment study has been conducted in western Kebumen, characterized by its karstic features based on physicochemical parameters (pH, electric conductivity, total dissolved solids, hardness, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , K^+ , Na^+ , Li^+ , and NH_4^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^- , and NO_3^-). Water samples were taken from 25 shallow groundwater sources such as springs, wet caves, and wells. The physicochemical data indicates very low natural and/or human contamination. The Piper diagram shows that the groundwater facies in this area is calcium-magnesium bicarbonate, indicating a very strong effect of carbonate lithology on groundwater. The Durov diagram shows that the groundwater in the study area only undergoes very low ion exchange, indicating the purity of this groundwater from natural contamination or anthropogenic impacts.

Keywords: hydrogeochemistry, groundwater, karst, Kebumen

Pendahuluan

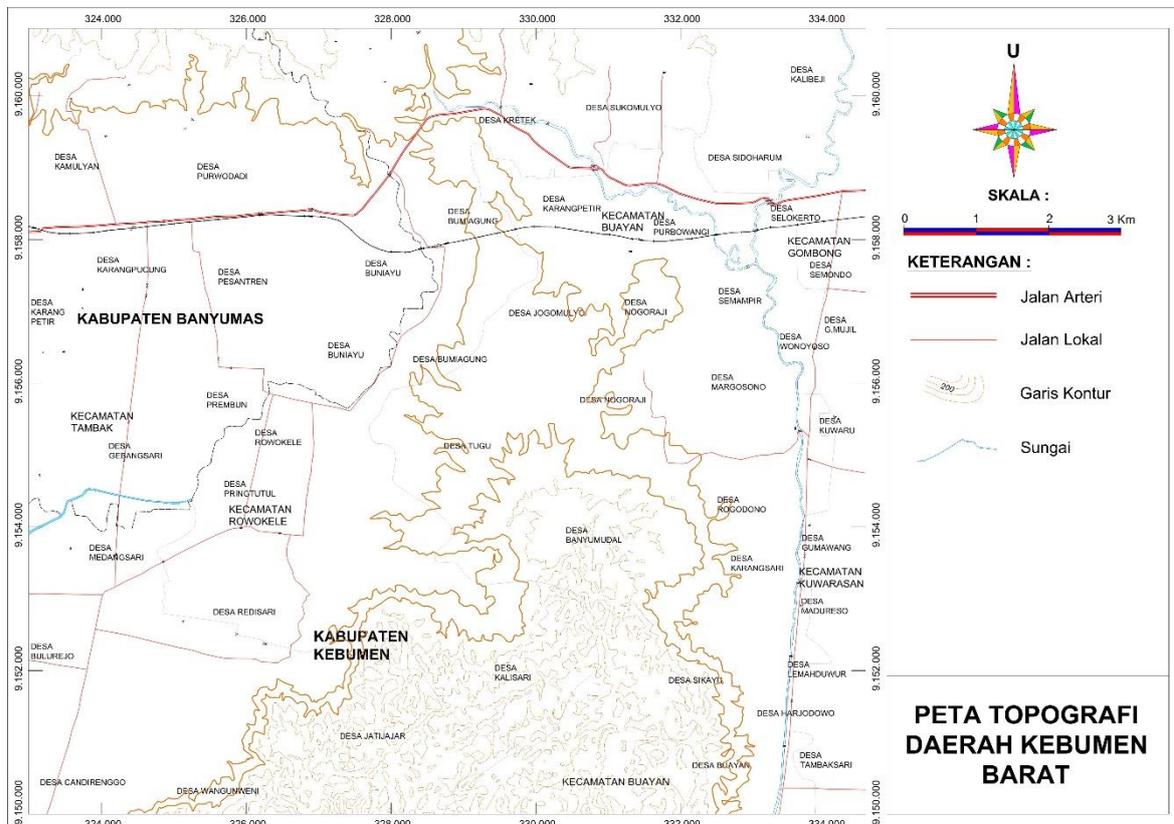
Hidrogeokimia air tanah merupakan bidang studi penting yang mempelajari komposisi kimia air tanah dan interaksi dengan fitur geologi sekitarnya (Elango dan Kannan, 2007). Kualitas air tanah sangat berperan dalam lingkungan karena menjadi sumber air yang penting untuk kebutuhan minum, industri, dan irigasi (Foster, 2001). Kualitas air tanah tergantung pada formasi geologi akuifer, properti fisiknya, dan interaksi dengan lingkungan sekitarnya. Studi mengenai geokimia air tanah membantu memahami proses alami yang mempengaruhi kimia air, menentukan sumber kontaminasi, dan memantau perubahan kualitas air dari waktu ke waktu. Analisis geokimia air tanah berguna untuk mengetahui mobilitas unsur dalam air dan potensi untuk pengisian kembali air tanah (Blake dkk., 2022). Topik ini penting untuk pengelolaan dan perlindungan sumber daya air, serta untuk pengembangan praktik lingkungan yang berkelanjutan.

Kualitas air tanah dapat berubah seiring waktu tergantung pada kondisi alami dan antropogenik di suatu daerah (Fitchen, 1988). Masuknya polusi ke dalam akuifer dapat menurunkan kualitas air, terutama untuk air minum. Komposisi kimia air tanah tergantung pada beberapa faktor, seperti jenis batuan akuifer, sistem pengisian kembali, kemampuan air tanah mengalir, waktu yang diperlukan air untuk berada di dalam akuifer, dan aktivitas manusia di sekitarnya (Stevanović, 2015). Daerah karst, yang didominasi oleh batuan karbonat, memiliki pengaruh pada geokimia air tanah karena akuifer di daerah tersebut sebagian besar terdiri dari batu kapur. Ciri khas dari sistem air tanah karst adalah keberadaan gua dan sistem air bawah tanah (Ford dan Williams, 2010). Struktur dan sifat air tanah di daerah karst dapat diubah oleh proses alami seperti perubahan iklim dan vegetasi, serta oleh pembentukan porositas tambahan melalui retakan atau rongga akibat pelarutan batuan.

Hidrogeologi karst merupakan sistem yang kompleks dan sangat dinamis yang melibatkan interaksi antara air, batuan, dan proses biologi. Karakteristik geologi unik dari lanskap karst, seperti sinkhole, gua, dan sungai bawah tanah, menciptakan fitur hidrologi dan hidrokimia yang berbeda. Daerah yang terkait dengan karst ditandai dengan aliran air tanah yang cepat dan sulit diprediksi (Parise dkk., 2018), yang dapat menyebabkan pengisian dan pembuangan sumber daya air yang cepat. Hidrogeokimia di daerah karst adalah topik penting dalam penelitian yang berfokus pada pemahaman komposisi kimia air tanah di lingkungan unik ini. Dengan menyelidiki proses hidrogeokimia di daerah karst, para peneliti dapat memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang proses alami yang mengontrol kualitas air, mengidentifikasi sumber kontaminasi, dan mengembangkan strategi pengelolaan yang berkelanjutan untuk sumber daya air berharga ini.

Area Studi

Studi hidrogeokimia air tanah ini dilakukan di sekitar Desa Sikayu, Desa Bumiagung, Desa Banyumudal, Desa Jatiluhur dan Desa Jatirogo yang berada di Kecamatan Buayan dan Kecamatan Rowokele, Kabupaten Kebumen, Provinsi Jawa Tengah. Secara geografis, lokasi studi ini terletak di antara $-7,6612^{\circ}$ LS dan $-7,5248^{\circ}$ LS serta antara $109,6639^{\circ}$ BT dan $109,5885^{\circ}$ BT (Gambar 1). Morfologi area Kebumen bagian barat terbagi menjadi dua tipe, perbukitan dan dataran aluvial. Morfologi perbukitan membentang di bagian tengah daerah penelitian dengan orientasi utara-selatan dimana bukit daerah selatan cenderung lebih tinggi dan curam. Daerah barat dan timur bukit ini didominasi oleh dataran aluvial yang cenderung landai. Daerah yang landai cenderung memiliki elevasi rendah kurang dari 50 meter dan daerah perbukitannya memiliki elevasi hingga hampir 400 meter. Berdasar data curah hujan bulanan di Kabupaten Kebumen (Badan Pusat Statistik Kabupaten Kebumen, 2022), daerah ini memiliki curah hujan yang tergolong cukup tinggi dan Panjang. Bulan dengan curah hujan tinggi, yang lebih dari 100 mm per bulan, adalah Bulan Oktober sampai dengan Mei, sedangkan bulan yang kering, yang memiliki curah hujan di bawah 100 mm per bulan, adalah Bulan Juni hingga September. Bulan permulaan setiap musim hujan dan kemarau ini dapat berbeda bergantung tahunnya tetapi tidak berbeda secara signifikan.

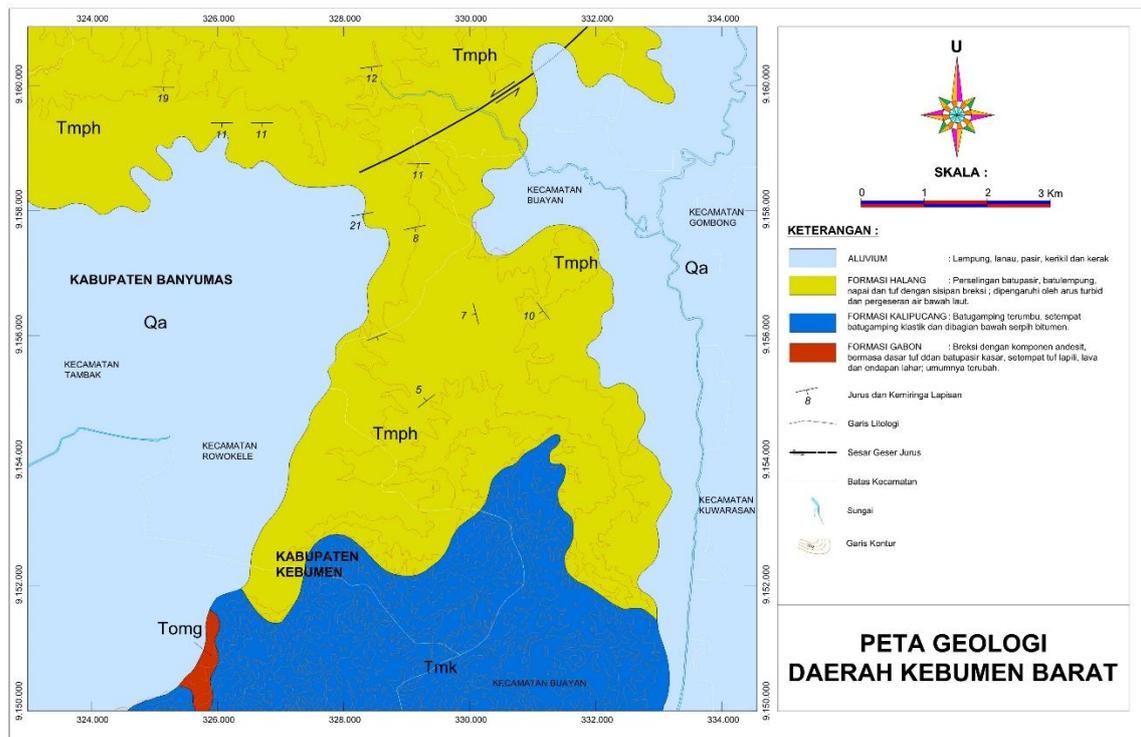


Gambar 1. Peta Topografi Daerah Timur Kebumen.

Geologi Regional

Berdasarkan pada Peta Geologi Lembar Banyumas 1308-2 oleh Asikin, dkk. (1992), area studi ini didominasi oleh litologi cekungan busur muka (fore-arc basin) di daerah selatan, tengah dan sebagian di utara dan endapan aluvial di sebelah barat dan timur daerah studi (Gambar 2). Deskripsi batuan-batuan yang terdapat di Kebumen bagian barat adalah sebagai berikut, berurutan dari litologi tertua ke yang termuda:

- a. **Formasi Gabon**
 Formasi ini terdiri dari breksi gunungapi, tuff lapili lokal, lava, breksi lahar, konglomerat dan batupasir sela. Breksi gunungapi memiliki warna kelabu tua, hitam, coklat, hijau, dan biru. Batuan ini tidak berlapis atau berlapis buruk, padat, dan terdiri dari komponen batuan andesit yang bersortasi buruk dengan ukuran beberapa milimeter hingga 30 sentimeter dan memiliki sudut tajam. Dasar formasi ini terdiri dari tuff dan batupasir kasar. Formasi ini juga memiliki lava yang di beberapa tempat menunjukkan struktur aliran yang jelas.
- b. **Formasi Kalipucang**
 Formasi ini merupakan gabungan dari beberapa jenis batuan, yaitu batugamping terumbu, batugamping klastik, batulempung, serpih, dan batupasir. Bagian bawahnya terdiri dari batulempung berwarna kelabu kecoklatan yang mengandung pirit, fosil daun, dan butiran garam halus. Di atasnya terdapat serpihan bitumen berwarna hitam. Lapisan batupasir terdapat di atas serpih, berwarna kelabu kecoklatan, butirannya sedang, mengandung cangkang moluska dan gampingan. Sedangkan bagian atasnya terdiri dari batugamping koral berwarna putih kekuningan atau kelabu, padat, dengan permukaan yang tajam dan berlubang-lubang. Dalam beberapa tempat, terdapat perlapisan yang tidak jelas. Batugamping koral ini mengandung cangkang moluska, foraminifera, dan ganggang.
- c. **Formasi Halang**
 Formasi Halang terendapkan secara selaras di atas Formasi Kalipucang. Formasi ini terdiri atas lapisan-lapisan bergantian dari batupasir, batulempung, napal, dan tuff dengan adanya sisipan breksi. Bagian bawah Formasi Halang terdiri atas breksi dan napal dengan adanya sisipan batupasir dan batulempung. Ke arah atas, terdapat perselingan antara batupasir dan napal dengan adanya sisipan batulempung, tuff, dan kalkarenit. Bagian atas Formasi Halang terdiri atas napal dan batupasir dengan adanya sisipan tuff, batulempung, dan batupasir konglomeratan.
- d. **Aluvium**
 Formasi ini diperkirakan terbentuk pada zaman Holosen dan terdiri dari bahan-bahan seperti kerakal, kerikil, pasir, lanau, dan lempung.



Gambar 2. Peta Geologi Daerah Timur Kebumen.

Metodologi

Contoh air diambil dari beberapa sumber air tanah di sekitar lokasi studi yang terletak di bagian barat Kabupaten Kebumen, seperti 13 mata air, 8 sungai dan 4 goa. Sebelum pengambilan sampel, parameter-parameter air yang diambil diukur untuk mengumpulkan data pH, zat padat terlarut (TDS), dan konduktivitas elektrik (EC). Air diambil ke dalam botol buram yang sudah dicuci bersih dan disimpan terhindar dari sinar matahari untuk analisis lebih lanjut. Analisis geokimia dilakukan oleh Pusat Air tanah dan Geologi Tata Lingkungan, Badan Geologi. Kation yang diukur oleh analisis kimia adalah Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , K^+ , Na^+ , Li^+ , dan NH_4^+ , sedangkan anion yang diukur adalah HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , dan NO_3^- . Hasilnya kemudian diproses menjadi diagram Piper dan Durov untuk memahami jenis air tanahnya.

Hasil dan Diskusi

Sifat Fisik Air tanah

Parameter fisik, kation dan anion ditunjukkan oleh Tabel 1. Temperatur insitu bervariasi dari 26,5 C sampai dengan 30,4 C dengan rerata 27,9 C. Data temperatur ini menunjukkan tidak adanya kecenderungan ditemukannya manifestasi airpanas di daerah barat Kebumen ini. Data pH menunjukkan variasi dari sedikit asam ke sedikit basa, yaitu dengan nilai antara 6,3 dan 8 dengan nilai rata-rata bernilai 7,1. Meskipun daerah ini didominasi oleh litologi karbonat di daerah selatannya, nilai pH tidak menunjukkan kecenderungan keasaman atau kebasaaan dari air tanah yang diambil. Sampel-sampel air tanah yang diambil menunjukkan variasi nilai konduktivitas elektrik (EC) yang tidak terlalu lebar yaitu dari 70 hingga 660 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dengan rata-ratanya bernilai 369,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nilai EC yang cenderung rendah menunjukkan disebabkan oleh rendahnya efek-efek yang mempengaruhi kualitas air tanah, seperti intrusi airlaut dan sebab-sebab antropologis. Meskipun daerah ini cenderung tidak terlalu jauh dari garis pantai, sekitar lebih kurang 2-3 km, efek dari intrusi ini sangatlah minim mengingat morfologi bagian selatan daerah penelitian yang berbukit dan didominasi oleh batu gamping sehingga menahan efek dari intrusi airlaut tersebut.

Tabel 1. Tabel informasi statistik dari sifat fisikokimia dari sampel air tanah.

| Parameter | Min | Maks | Rerata |
|-----------------------------------|------|-------|--------|
| pH | 6.3 | 8 | 7.156 |
| EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 70 | 660 | 369.2 |
| TDS (mg/L) | 140 | 500 | 257.6 |
| T ($^{\circ}\text{C}$) | 26.5 | 30.4 | 27.952 |
| Kesadahan (mg/L CaCO_3) | 2.7 | 115.2 | 42.852 |
| Ca^{2+} (mg/L) | 16.1 | 141.9 | 73.78 |
| Mg^{2+} (mg/L) | 2.2 | 65.9 | 20.388 |
| Fe^{3+} (mg/L) | 0 | 0.21 | 0.034 |
| Mn^{2+} (mg/L) | 0.01 | 0.32 | 0.046 |
| K^+ (mg/L) | 0.4 | 3.1 | 1.272 |
| Na^+ (mg/L) | 2.9 | 46.8 | 7.808 |
| Li^+ (mg/L) | 0 | 0 | 0 |
| NH_4^+ (mg/L) | 0 | 0.2 | 0.0324 |
| HCO_3^- (mg/L) | 89.3 | 473.8 | 290.9 |
| Cl^- (mg/L) | 8.9 | 61.1 | 16.9 |
| SO_4^{2-} (mg/L) | 0 | 79.8 | 12.048 |
| NO_3^- (mg/L) | 0 | 8 | 2.044 |

Geokimia Kation dan Anion Utama

Urutan konsentrasi kation dari yang tertinggi ke terendah berdasar nilai rata-ratanya, secara berurutan, adalah Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Mn^{2+} , Fe^{3+} , NH_4^+ , dan Li^+ . Kation Li^+ tidak terdeteksi di seluruh sampel yang dikumpulkan dalam studi ini. Konsentrasi kation Ca^{2+} mempunyai nilai rata-rata sebesar 73,78 mg/L dan bervariasi mulai dari 16,1 hingga 141,9 mg/L. Karena nilai konsentrasi Ca^{2+} yang cukup tinggi, air tanah di daerah barat Kebumen ini dapat dikatakan cukup sadah dan sebaiknya perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut

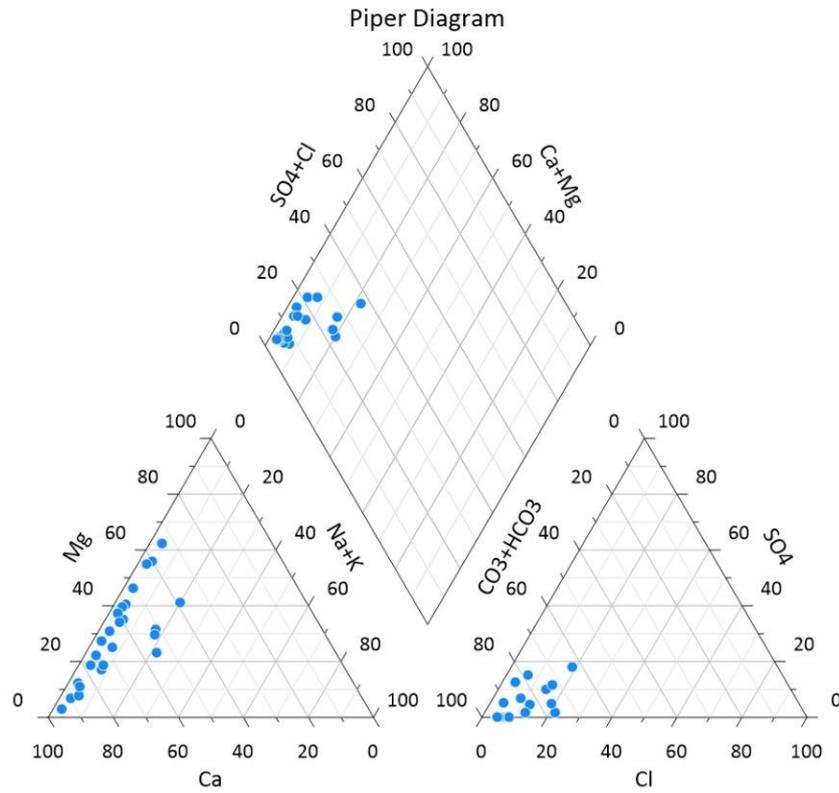
pada air-air yang memiliki nilai Ca^{2+} yang tinggi untuk meminimalkan risiko kesehatan yang dapat ditimbulkan. Kandungan ion kalsium yang cukup tinggi di daerah ini menunjukkan tipikal pelarutan dari litologi di sekitarnya yaitu batu gamping yang mendominasi di daerah selatan daerah penelitian. Konsentrasi magnesium di daerah ini memiliki variasi antara 2,2 dan 65,9 mg/L dan mempunyai rerata sebesar 20,38 mg/L. Nilai kandungan magnesium yang cukup tinggi menunjukkan pelarutan batuan di sekitarnya yang berupa batuan karbonat. Hal ini menunjukkan adanya indikasi pelarutan dolomit selama transpor air tanah. Di sisi lain, kandungan ion natrium pada sampel-sampel yang dikumpulkan menunjukkan nilai yang rendah yang bernilai antara 2,9 mg/L dan 46,8 mg/L serta mempunyai nilai rata-rata 7,8 mg/L. Konsentrasi ion kalium juga menunjukkan kecenderungan yang serupa yaitu mempunyai nilai yang bervariasi mulai dari 0,4 sampai dengan 3,1 mg/L. Rendahnya nilai Na^+ dan K^+ mengindikasikan rendahnya dampak dari air laut dan juga efek polusi dari manusia. Kation Li^+ tidak terdeteksi di seluruh sampel yang dikumpulkan dalam studi ini.

Anion air tanah yang terdapat pada daerah studi ini dapat diurutkan berdasar nilai rata-rata terbesar adalah sebagai berikut: HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , and NO_3^- . Nilai ion bikarbonat bervariasi, mulai dari 89,3 sampai dengan 473,8 mg/L dan memiliki nilai rerata sebesar 290,9 mg/L. Ion HCO_3^- yang bernilai terbilang tinggi ini dapat diekspektasikan ditemukan di daerah yang didominasi oleh litologi karbonatan dimana air tanah ini melarutkan karbonat dari litologi itu dan masuk ke dalam air tanah ini. Ion klorida dalam air tanah ini memiliki nilai antara 8,9 dan 61,1 mg/L dan nilai rerata 16,9 mg/L. Di sisi lain, kandungan ion SO_4^{2-} pada sampel yang diambil di daerah ini memiliki nilai mulai dari 0 hingga 79,8 mg/L. Lalu, nilai kandungan ion NO_3^- yang terdapat pada air tanah di area studi bervariasi antara 0 dan 8 mg/L. Rendahnya nilai anion-anion Cl^- , SO_4^{2-} , dan NO_3^- , menunjukkan bahwa air di daerah ini cenderung murni dilihat dari rendahnya kontaminasi sekunder yang menyebabkan anion-anion selain ion bikarbonat tidak mengalami kenaikan berarti.

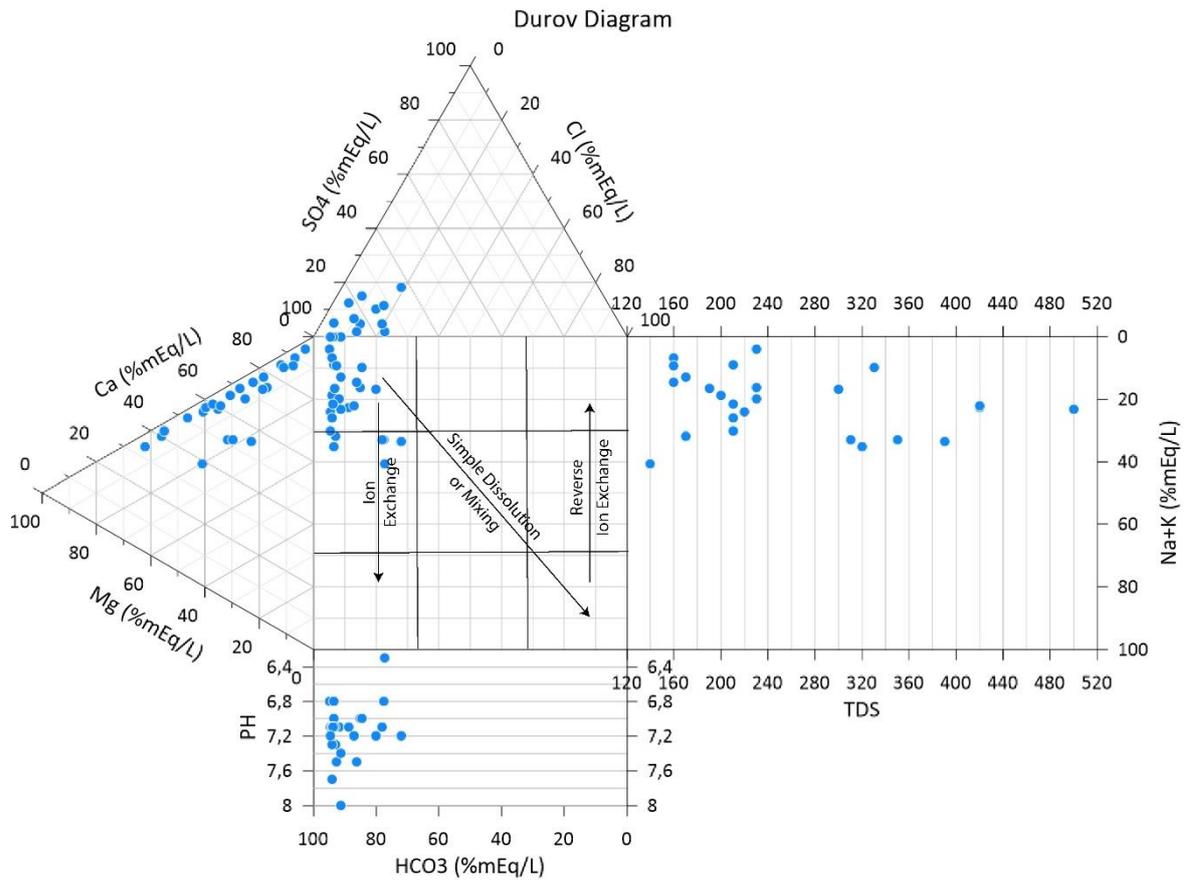
Hidrogeokimia

Sistem air tanah dievaluasi dengan fasies geokimia air menggunakan diagram Piper (1944). Plot ini terdiri dari dua diagram segitiga dan berlian, memplotkan baik kation maupun anion (Gambar 3). Dengan menggabungkan bidang kation dan anion, satu titik ditampilkan dalam diagram berbentuk berlian untuk membuat inferensi berdasarkan konsep fasies hidrogeokimia. Diagram ini sangat cocok untuk menyoroti hubungan hidrokimia antara berbagai sampel air tanah. Fasies merujuk pada zona yang berbeda yang menunjukkan karakteristik yang berbeda dalam sistem yang terkait secara genetik. Fasies hidrokimia dikategorikan oleh konsentrasi kation dan anion dan memberikan kerangka kerja yang berguna untuk mengidentifikasi dan memahami komposisi air dalam kelas yang berbeda. Data dari diagram trilinear Piper untuk data hidrogeokimia di Kebumen daerah barat menunjukkan bahwa data kimia air diplot pada tipe kalsium dan magnesium untuk kationnya dan pada tipe bikarbonat. Pergeseran plot kation dari tipe kalsium ke magnesium mengindikasikan bahwa terjadinya input magnesium ke dalam sistem air tanah. Hal ini dimungkinkan oleh pelarutan litologi yang memiliki kandungan magnesium dan litologi yang memungkinkan di daerah litologi karbonatan ini adalah dari batuan dolomitan. Keterdapatannya dolomit di daerah ini mengindikasikan adanya diagenesa batu gamping yang terjadi setelah pengendapan batu gamping sehingga dapat mengubahnya menjadi batu gamping yang mengandung dolomit. Input Mg dari air laut dinilai kurang memungkinkan melihat bahwa konsentrasi Na, yang merupakan konstituen utama dari air laut, di dalam air tanah di daerah ini sangatlah rendah. Di sisi lain, pada geokimia anion menunjukkan bahwa fasies hidrokimianya hanya masuk ke dalam tipe bikarbonat. Kandungan bikarbonat yang tinggi dengan anion lainnya yang rendah mengindikasikan adanya mineral karbonatan di dalam akuifer yang mengimplikasikan adanya *buffering* bikarbonat dimana air melarutkan mineral-mineral seperti kalsit, dolomit dan mineral yang mengandung karbonat lainnya. Tipe hidrokimia ini tipikal untuk didapatkan pada daerah karst dimana batugamping dan batuan karbonat lain. Pada diagram berlian Piper, keseluruhan sampel air tanah masuk ke dalam fasies kalsium-magnesium bikarbonat. Hal ini bersesuaian dengan beberapa interpretasi di atas yang menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki litologi batu gamping dan mineral-mineral di dalamnya terlarutkan dan masuk ke dalam air tanah.

Untuk mendelineasi karakteristik hidrokimia air tanah, digunakanlah diagram Durov (1948). Berdasarkan plot pada diagram (Gambar 4), terindikasi bahwa sebagian besar air tanah yang berada pada wilayah studi tidak mengalami pertukaran ion dan hanya sebagian kecil yang mengalami pertukaran ion. Sebagian kecil tersebut mengalami kontak dengan mineral-mineral lempung dan material lain sehingga dapat terjadi pertukaran ion. Sebagian ion kalsium dapat bertukar dengan ion natrium dan kalium sehingga membuat air tanah bergeser ke grup natrium-kalium pada diagram Durov.



Gambar 3. Diagram trilinear Piper menunjukkan fasies air tanah pada area studi.



Gambar 4. Diagram Durov yang menunjukkan proses hidrogeokimia yang terjadi pada air tanah selama berada di akuifer.

Kesimpulan

- Studi hidrogeokimia air tanah dilakukan di daerah Kebumen bagian barat, yang memiliki litologi umum berupa batugamping dan morfologi karst, dengan mengambil sampel dari beberapa jenis sumber air tanah seperti mata air, goa basah dan sumur.
- Hasil analisis kimia air tanah menunjukkan rendahnya kontaminasi hasil dari intrusi air laut maupun dampak antropologi.
- Diagram Piper untuk menentukan fasies hidrokimia air tanah menunjukkan bahwa seluruh air tanah di daerah ini masuk ke dalam fasies kalsium-magnesium bikarbonat. Hal ini mengindikasikan efek litologi karbonatan yang sangat kuat sehingga air-air melarutkan batuan karbonatan yang memiliki mineral kalsit maupun dolomit dan terdeteksi pada air tanah di sekitar area studi.
- Diagram Durov untuk penentuan evolusi air tanah menunjukkan bahwa di daerah ini hanya mengalami dampak pertukaran ion yang sangat minimal sehingga air tanah di daerah ini dapat dikatakan masih murni dari adanya berbagai macam kontaminasi.

Referensi

- Asikin, S., 1992, Peta Geologi Lembar Banyumas, scale 1:100000
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Kebumen, 2022, Jumlah Curah Hujan di Kabupaten Kebumen (mm), 2019-2022:, diakses Januari 12, 2023, pada <https://satudata.kebumenkab.go.id/>
- Blake, J. M., Walton-Day, K., Gallegos, T. J., Yager, D. B., Teeple, A., Humberson, D., Stengel, V., dan Becher, K., 2022, New Geochemical Framework and Geographic Information System Methodologies to Assess Element Occurrence, Persistence, and Mobility in Groundwater and Surface Water, *Minerals*, Vol. 12, no. 4, pp 411
- Durov, S. A., 1948, Natural waters and graphic representation of their composition, *Dokl Akad Nauk SSSR*, Vol. 59, no. No. 3, pp 87–90
- Elango, L. dan Kannan, R., 2007, Chapter 11 Rock–water interaction and its control on chemical composition of groundwater, hlm. 229–243, dalam *Developments in Environmental Science*, Elsevier
- Fitchen, J., 1988, Anthropology and Environmental Problems in the U.S.: The Case of Groundwater Contamination, *Practicing Anthropology*, Vol. 10, no. 3–4, pp 5–20
- Ford, D. dan Williams, P. W., 2010, *Karst hydrogeology and geomorphology*, John Wiley & Sons, Chichester, England
- Foster, S. S. D., 2001, The Interdependence of Groundwater and Urbanisation in Rapidly Developing Cities, *Urban Water*, Vol. 3, no. 3, pp 185–192
- Parise, M., Gabrovsek, F., Kaufmann, G., dan Ravbar, N., 2018, Recent Advances in Karst Research: From Theory to Fieldwork and Applications, *Geological Society, London, Special Publications*, Vol. 466, no. 1, pp 1–24
- Piper, A. M., 1944, A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water-Analyses, *Transactions, American Geophysical Union*, Vol. 25, no. 6, pp 914
- Stevanović, Z., 2015, Characterization of Karst Aquifer, hlm. 47–125, dalam Stevanović, Z. (ed.), *Karst Aquifers—Characterization and Engineering*, Springer International Publishing, Cham