



Karakteristik Hidrogeokimia dan Evaluasi Kualitas Air Sungai dan Air Tanah di Kawasan Braga, Kota Bandung

Ahrish Firman Syah¹, Nur Vira Suneth², Ahmad Sholeh Sianturi³, Mhd. Isfahan Fadyasha^{4*}, Maria Christine Rosaria⁵, Rifda Amara Aulia⁶, Abyaz Nawfaldhiyaa⁷

^{1,3,4,5,6,7} Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

² Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

Email: fahannef@gmail.com*

Abstract

Urban areas with intensive domestic and commercial activities may significantly influence the quality of surface water and groundwater. This study aims to analyze the physical characteristics, major ion composition, hydrogeochemical facies, and compliance of water quality with drinking water standards in the Braga area, Bandung City. Water samples were collected from three points along the Cikapundung River and two groundwater wells. Physical parameters were measured in situ, while chemical analyses were conducted using Ion Chromatography (IC) for major anions and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) for major cations. Data quality was evaluated using ion balance error calculations, and hydrogeochemical facies were interpreted using the Piper diagram. The results indicate that all water samples are characterized by the Ca-Mg-HCO₃ hydrogeochemical facies, indicating that water chemistry is primarily controlled by water-rock interactions within the volcanic deposits of the Bandung Basin. Comparison with water quality standards indicates that several parameters, particularly pH and nitrate in river water and TDS and manganese in one groundwater sample, exceed the permissible limits. Water balance analysis using the F.J. Mock method shows that regional hydrological dynamics are strongly influenced by seasonal rainfall patterns, which control surface runoff and the potential interaction between surface water and groundwater. Overall, the results suggest that water quality in the Braga area is influenced by both geogenic processes related to water-rock interaction and anthropogenic pressures associated with urban activities.

Keywords: hydrogeochemistry, water quality, Piper diagram, water balance, Cikapundung River

Abstrak

Kawasan perkotaan dengan aktivitas domestik dan komersial yang intensif berpotensi mempengaruhi kualitas air permukaan dan air tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik fisik, komposisi ion mayor, fasies hidrogeokimia, serta kesesuaian kualitas air terhadap standar baku mutu di kawasan Braga, Kota Bandung. Pengambilan sampel dilakukan pada tiga titik air permukaan Sungai Cikapundung dan dua titik air tanah dari sumur warga. Parameter fisik diukur secara in situ, sedangkan analisis kimia dilakukan menggunakan metode Ion Chromatography (IC) untuk anion dan Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) untuk kation. Evaluasi kualitas data kimia dilakukan menggunakan perhitungan ion balance error, sedangkan interpretasi fasies hidrogeokimia menggunakan diagram Piper. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh sampel air memiliki fasies hidrogeokimia Ca-Mg-HCO₃, yang mencerminkan dominasi proses interaksi air-batuan pada endapan vulkanik Cekungan Bandung. Evaluasi terhadap standar baku mutu menunjukkan bahwa beberapa parameter, terutama pH dan nitrat pada air sungai serta TDS dan mangan pada salah satu sampel air tanah, tidak memenuhi batas yang ditetapkan. Analisis neraca air menggunakan metode F.J. Mock menunjukkan bahwa dinamika hidrologi wilayah dipengaruhi oleh pola curah hujan musiman yang mengontrol limpasan permukaan dan potensi interaksi antara air permukaan dan air tanah. Secara keseluruhan, kualitas air di kawasan Braga dipengaruhi oleh kombinasi proses geogenik dari interaksi air-batuan serta tekanan antropogenik dari aktivitas perkotaan.

Kata kunci: hidrogeokimia, kualitas air, diagram Piper, neraca air, Sungai Cikapundung

PENDAHULUAN

Ketersediaan air bersih merupakan kebutuhan dasar yang umumnya dipenuhi dari sumber air permukaan dan air tanah. Di kawasan perkotaan, pertumbuhan penduduk dan peningkatan aktivitas ekonomi tidak hanya meningkatkan kebutuhan air, tetapi juga dapat mempengaruhi keseimbangan sistem hidrologi serta kualitas sumber daya air. Limbah domestik, limpasan permukaan, serta perubahan tata guna lahan sering menjadi faktor yang menurunkan kualitas air di lingkungan perkotaan (UNESCO, 2018; WHO, 2017).

Kondisi tersebut juga terjadi di Kota Bandung yang berkembang pesat sebagai pusat aktivitas ekonomi dan permukiman di Jawa Barat. Kota Bandung berada pada Cekungan Bandung yang tersusun oleh endapan vulkanik Kuartar yang relatif permeabel dan berkembang sebagai sistem akuifer penting bagi kebutuhan air masyarakat (Alloway, De Vries et al., 2012). Pemanfaatan air tanah yang cukup intensif di wilayah ini diketahui dapat mempengaruhi dinamika sistem air tanah, termasuk perubahan kualitas air akibat pencampuran antara air tanah dangkal dan air tanah dalam (Taufiq et al., 2018).

Sungai Cikapundung merupakan salah satu sungai utama yang melintasi Kota Bandung dan menjadi bagian dari sistem drainase perkotaan yang bermuara ke Sungai Citarum. Sungai ini mengalir melalui kawasan dengan kepadatan penduduk yang tinggi sehingga menerima berbagai masukan limbah domestik maupun aktivitas perkotaan lainnya. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kualitas air Sungai Cikapundung mengalami penurunan, terutama pada segmen hilir, akibat meningkatnya beban pencemar dari aktivitas manusia di sepanjang daerah alirannya (Putra et al., 2018).

Secara hidrogeologi, Sungai Cikapundung mengalir pada endapan vulkanik Cekungan Bandung yang relatif permeabel sehingga memungkinkan terjadinya interaksi hidraulik antara air sungai dan akuifer dangkal. Dalam kondisi tertentu, sungai dapat berperan sebagai gaining stream maupun losing stream tergantung pada gradien hidraulik dan kondisi akuifer di sekitarnya (Puradimaja & Lubis, 2006). Interaksi tersebut berpotensi mempengaruhi kualitas air tanah, terutama pada lingkungan perkotaan yang menerima tekanan dari aktivitas domestik dan komersial.

Kesenjangan penelitian (research gap) terletak pada belum adanya studi yang secara simultan menganalisis karakteristik hidrogeokimia air sungai dan air tanah pada segmen perkotaan yang padat aktivitas seperti Kawasan Braga, serta menghubungkannya dengan evaluasi kesesuaian terhadap standar baku mutu dan dinamika neraca air regional. Urgensi penelitian ini sangat tinggi mengingat Kawasan Braga merupakan pusat komersial dan wisata Kota Bandung dengan intensitas aktivitas tinggi yang berpotensi memberikan tekanan signifikan terhadap kualitas sumber daya air setempat. Tanpa pemahaman yang komprehensif mengenai karakteristik hidrogeokimia dan kualitas air di kawasan ini, upaya pengelolaan sumber daya air yang tepat sasaran sulit untuk diwujudkan.

Kebaruan penelitian (novelty) ini terletak pada tiga hal. Pertama, penelitian ini mengintegrasikan analisis hidrogeokimia air sungai dan air tanah secara simultan pada skala lokal di kawasan perkotaan padat aktivitas. Kedua, penelitian ini menggabungkan evaluasi kualitas air berdasarkan standar baku mutu dengan analisis neraca air untuk memahami dinamika hidrologi yang mempengaruhi kualitas air. Ketiga, penelitian ini memberikan kontribusi pada pemahaman tentang interaksi antara proses geogenik (interaksi air-batuan)

dan tekanan antropogenik (aktivitas perkotaan) dalam mengontrol kualitas air di Cekungan Bandung bagian tengah.

Penelitian mengenai kualitas air Sungai Cikapundung telah banyak dilakukan, namun sebagian besar masih berfokus pada air sungai secara terpisah. Kajian yang mengintegrasikan karakteristik hidrogeokimia antara air sungai dan air tanah pada skala lokal, khususnya di kawasan perkotaan seperti Braga, masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik fisik dan kimia air permukaan Sungai Cikapundung serta air tanah di kawasan Braga, Kota Bandung. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi fasies hidrogeokimia dan kesesuaian kualitas air terhadap standar baku mutu untuk memahami proses yang mempengaruhi kualitas air pada sistem perairan di wilayah penelitian.

Cekungan Bandung merupakan cekungan vulkanik Kuartar yang terbentuk oleh aktivitas tektonik dan vulkanisme di Jawa Barat bagian tengah. Cekungan ini dikelilingi oleh kompleks gunung api seperti Gunung Tangkuban Parahu, Gunung Manglayang, Gunung Patuha, dan Gunung Wayang yang menghasilkan endapan vulkanik pengisi cekungan (Hutasoit, 2009).

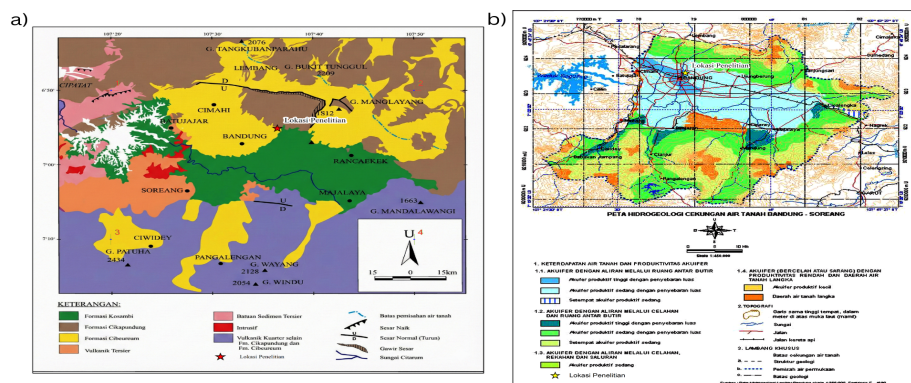
Secara stratigrafi, satuan utama penyusun Cekungan Bandung terdiri atas Formasi Cikapundung, Formasi Cibeureum, dan Formasi Kosambi. Formasi Cikapundung merupakan satuan batuan tertua dan berperan sebagai batuan dasar sistem akuifer. Formasi Cibeureum tersusun oleh endapan vulkanik Kuartar berupa breksi, tuf, dan pasir vulkanik yang relatif permeabel sehingga berkembang sebagai akuifer utama. Formasi Kosambi terdiri atas endapan danau berbutir halus seperti lempung dan lanau yang umumnya berperan sebagai lapisan akuitar (Hutasoit, 2009).

Lokasi penelitian di kawasan Braga termasuk dalam satuan Formasi Cibeureum (Gambar 1a). Satuan ini tersusun oleh material vulkanik lepas yang relatif permeabel. Kondisi tersebut memungkinkan berkembangnya akuifer produktif yang dimanfaatkan melalui sumur gali dan sumur bor. Litologi endapan vulkanik ini juga mengontrol pola aliran air tanah serta interaksi antara air tanah dan air permukaan.

Secara hidrogeologi, Cekungan Bandung merupakan sistem akuifer vulkanik yang berkembang pada endapan gunung api Kuartar. Berdasarkan peta hidrogeologi Cekungan Air Tanah Bandung–Soreang, sistem akuifer di wilayah ini didominasi oleh akuifer dengan aliran melalui ruang antar butir pada material vulkanik lepas seperti breksi, tuf, pasir vulkanik, dan kerikil (DTLGKP, 2009).

Pada bagian tengah cekungan, termasuk Kota Bandung, berkembang akuifer dengan produktivitas sedang hingga tinggi dan penyebaran yang luas (Gambar 1). Akuifer ini dimanfaatkan secara intensif oleh masyarakat untuk kebutuhan domestik dan perkotaan.

Lokasi penelitian di kawasan Braga berada pada zona akuifer produktif dengan aliran melalui ruang antar butir. Kondisi ini memungkinkan terjadinya interaksi hidraulik antara Sungai Cikapundung dan akuifer dangkal. Dalam kondisi tertentu, sungai dapat berperan sebagai *gaining stream* maupun *losing stream* tergantung pada gradien hidraulik dan fluktuasi muka air tanah. Interaksi ini berpotensi mempengaruhi karakteristik hidrogeokimia air tanah di wilayah penelitian.



Gambar 1. (a) Peta geologi Cekungan Bandung dan lokasi penelitian di kawasan Braga (dimodifikasi dari Hutasoit, 2009). (b) Peta hidrogeologi Cekungan Air Tanah Bandung–Soreang yang menunjukkan distribusi produktivitas akuifer (DTLGKP, 2009).

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Pengambilan sampel dan pengukuran parameter kualitas air dilakukan menggunakan beberapa peralatan lapangan, yaitu syringe 50 mL, filter syringe berpori 0,4 μ m, botol sampel berbahan High Density Polyethylene (HDPE) berkapasitas 50 mL dan 500 mL, cool box, ice pack, water level meter, serta water quality meter (WQM).

Bahan yang digunakan meliputi larutan asam nitrat (HNO_3) sebagai pengawet sampel untuk analisis unsur terlarut, kertas lakmus untuk pengujian pH, serta aquades untuk pembilasan peralatan. Daftar alat dan bahan yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

Alat	Bahan
Syringe 50 mL	Cairan HNO_3
Filter syringe 0,4 μ	Kertas lakmus
Botol HDPE 50 mL	Aquades
Botol HDPE 500 mL	Tisu
Cool box	-
Ice pack	-
Water level meter	-
Water quality meter	-

Metode Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada lima titik yang mewakili kondisi air permukaan Sungai Cikapundung dan air tanah di sekitar lokasi penelitian. Titik sampling terdiri dari tiga titik air sungai (hulu, tengah, dan hilir) serta dua titik air tanah yang berada di bagian barat dan timur sungai. Informasi lokasi sampling disajikan pada Tabel 2.

Sampel air diambil secara langsung dari sumber menggunakan syringe berkapasitas ± 50 mL. Peralatan sampling terlebih dahulu dibilas dengan air sampel untuk meminimalkan kontaminasi. Parameter fisika air diukur secara in situ menggunakan water quality meter (WQM) yang meliputi temperatur, pH, konduktivitas listrik (EC), dan salinitas (APHA, 2017).

Sampel kemudian disaring menggunakan filter syringe berukuran 0,4 µm dan dimasukkan ke dalam botol HDPE. Sampel untuk analisis Ion Chromatography (IC) disimpan tanpa pengawet, sedangkan sampel untuk analisis Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) diawetkan dengan penambahan HNO₃ hingga pH < 2 untuk menjaga kestabilan unsur terlarut (Appelo & Postma, 2005). Seluruh sampel disimpan dalam cool box selama transportasi menuju laboratorium.

Tabel 2. Lokasi dan karakteristik titik pengambilan sampel air di daerah penelitian.

Kode Sampel	Lokasi Sampling	Jenis Sampel	Koordinat (Latitude, Longitude)	Warna
Sn1	Hulu Sungai	Air sungai	6°55'12.84" S, 107°36'30.27" E	Keruh
Sn2	Tengah Sungai	Air sungai	6°54'56.15" S, 107°36'26.07" E	Keruh (<Sn1)
Sn3	Hilir Sungai	Air sungai	6°54'37.35" S, 107°36'21.41" E	Keruh (>Sn1)
Sm1	Barat Sungai	Air tanah	6°54'57.81" S, 107°36'26.74" E	Keruh (>Sn2)
Sm2	Timur Sungai	Air tanah	6°54'59.17" S, 107°36'25.42" E	Jernih

Metode Analisis Sampel

Konsentrasi anion utama dianalisis menggunakan metode Ion Chromatography (IC) untuk menentukan kandungan klorida (Cl⁻), sulfat (SO₄²⁻), dan nitrat (NO₃⁻). Metode ini memisahkan ion berdasarkan interaksi dengan fase stasioner pada kolom kromatografi dan mendeteksinya menggunakan detektor konduktivitas (APHA, 2017).

Konsentrasi kation utama dianalisis menggunakan Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) untuk menentukan unsur kalsium (Ca²⁺), magnesium (Mg²⁺), natrium (Na⁺), dan kalium (K⁺). Analisis dilakukan melalui proses ionisasi unsur dalam plasma berenergi tinggi yang kemudian dideteksi berdasarkan rasio massa terhadap muatan (Appelo & Postma, 2005).

Evaluasi Kualitas Data Kimia

Keandalan data kimia air dievaluasi menggunakan metode Ion Balance Error (IBE) atau Charge Balance Error (CBE). Metode ini didasarkan pada keseimbangan muatan antara total kation dan anion dalam larutan air alami (Freeze & Cherry, 1979).

$$IBE(\%) = \frac{\Sigma kation - \Sigma anion}{\Sigma kation + \Sigma anion} \times 100$$

Seluruh konsentrasi ion terlebih dahulu dikonversi ke satuan milliequivalent per liter (meq/L). Nilai kesalahan keseimbangan ion dalam rentang ±5–10% masih dianggap dapat diterima untuk analisis hidrogeokimia (Appelo & Postma, 2005; Domenico & Schwartz, 1998).

Analisis Fasies Hidrogeokimia

Analisis fasies hidrogeokimia dilakukan menggunakan diagram Piper untuk mengidentifikasi tipe kimia air berdasarkan komposisi ion utama. Diagram ini mengklasifikasikan tipe air berdasarkan komposisi relatif kation (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺) dan anion (HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻) (Piper, 1944).

Sebelum diplot pada diagram Piper, konsentrasi ion hasil analisis laboratorium dikonversi dari satuan mg/L menjadi milliequivalent per liter (meq/L). Komposisi relatif ion kemudian dihitung dalam bentuk persentase ekuivalen dan diplot pada segitiga kation, segitiga anion, serta bidang berlian diagram Piper. Diagram ini digunakan untuk

menginterpretasikan tipe air serta proses hidrogeokimia yang mempengaruhi evolusi kimia air.

Analisis Kesesuaian dengan Standar Baku Mutu

Kualitas air dievaluasi dengan membandingkan hasil analisis parameter fisika dan kimia dengan standar baku mutu air yang berlaku di Indonesia. Parameter yang dianalisis meliputi pH, total dissolved solids (TDS), nitrat (NO_3^-), besi (Fe), dan mangan (Mn).

Nilai konsentrasi setiap parameter dibandingkan dengan nilai ambang batas yang ditetapkan dalam standar kualitas air bersih. Evaluasi ini digunakan untuk menentukan apakah kualitas air sungai dan air tanah di daerah penelitian memenuhi kriteria baku mutu.

Perhitungan Water Balance

Analisis neraca air dilakukan menggunakan metode F.J. Mock untuk memperkirakan ketersediaan air dan komponen aliran di wilayah penelitian. Metode ini menggunakan pendekatan neraca air sederhana berdasarkan data curah hujan, evapotranspirasi, dan perubahan simpanan air tanah (Mock, 1973). Persamaan dasar neraca air dinyatakan sebagai:

$$P - Ea = \Delta S + Q$$

di mana P adalah curah hujan (mm), Ea evapotranspirasi aktual (mm), ΔS perubahan simpanan air tanah (mm), dan Q limpasan total (mm).

Dalam metode F.J. Mock, limpasan total terdiri dari komponen direct runoff, surface runoff, dan baseflow. Metode ini banyak digunakan dalam analisis hidrologi di Indonesia karena relatif sederhana serta mampu memberikan estimasi aliran pada wilayah dengan keterbatasan data hidrologi (Triatmodjo, 2008).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Fisik (Pengukuran In Situ)

Karakteristik fisik air dianalisis berdasarkan pengukuran in situ pada tiga titik air permukaan Sungai Cikapundung (Sn1–Sn3) dan dua titik air tanah (Sm1–Sm2). Parameter yang diukur meliputi pH, suhu, oxidation–reduction potential (ORP), total dissolved solids (TDS), salinitas, konduktivitas listrik, kesadahan, dissolved oxygen (DO), serta kejenuhan oksigen (O_2). Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran in situ.

Parameter	Sn1	Sn2	Sn3	Sm1	Sm2
pH	9,51	10,35	12,44	9,71	6
Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	27	24,2	24,9	27,8	25
ORP(mv)	-	-169	-340	-147	-369
TDS (ppm)	372	283	231	690	230
Salinitas (%)	-	0,01	0,01	0,05	0,01
Conductivity (mS)	0,562	0,424	0,347	1,035	0,344
Hardness (ppm)	276	213	173	517	172
DO (mg/L)	17,7	6,6	22,3	9,6	12
O_2 (%)	64,5	16,1	37,3	23,9	27,1

1. Air Permukaan (Sn1, Sn2, dan Sn3)

Air Sungai Cikapundung menunjukkan variasi karakteristik fisik sepanjang aliran. Nilai pH berkisar antara 9,51–12,44 yang menunjukkan kondisi air bersifat basa hingga sangat basa. Nilai ini mengindikasikan kemungkinan pengaruh aktivitas perkotaan seperti masukan limbah domestik maupun perubahan komposisi kimia air akibat aktivitas antropogenik.

Suhu air berkisar antara 24,2–27 °C dan relatif stabil, sesuai dengan kondisi iklim tropis wilayah penelitian. Nilai TDS berkisar antara 231–372 ppm dengan konduktivitas listrik 0,347–0,562 mS. Kisaran ini menunjukkan tingkat mineralisasi air yang relatif sedang.

Kesadahan air berada pada kisaran 173–276 ppm yang menunjukkan dominasi ion kalsium dan magnesium dalam air sungai. Nilai DO menunjukkan variasi yang cukup besar yaitu 6,6–22,3 mg/L. Variasi ini mencerminkan perbedaan kondisi aerasi serta aktivitas biologis di sepanjang aliran sungai. Nilai ORP yang negatif pada beberapa titik menunjukkan kecenderungan kondisi lingkungan yang relatif reduktif. Secara umum, karakteristik fisik air sungai pada segmen Braga menunjukkan pengaruh lingkungan perkotaan yang berpotensi mempengaruhi kualitas air.

2. Air Tanah (Sm1 dan Sm2)

Karakteristik fisik air tanah menunjukkan kondisi yang berbeda dibandingkan air permukaan. Nilai pH berkisar antara 6–9,71. Sampel Sm2 memiliki kondisi relatif netral, sedangkan Sm1 cenderung lebih basa. Suhu air tanah berada pada kisaran 25–27,8 °C dan relatif stabil. Stabilitas ini mencerminkan kondisi lingkungan bawah permukaan yang lebih terlindung dari fluktuasi suhu atmosfer. Nilai TDS berkisar antara 230–690 ppm dengan konduktivitas listrik 0,344–1,035 mS. Nilai yang lebih tinggi pada Sm1 menunjukkan tingkat mineralisasi yang lebih besar dibandingkan titik lainnya. Kesadahan air tanah juga relatif tinggi, terutama pada Sm1 yang mencapai 517 ppm.

Secara umum, karakteristik fisik air tanah mencerminkan proses interaksi air dengan material geologi penyusun akuifer. Perbedaan parameter fisik antara air sungai dan air tanah menunjukkan adanya proses hidrogeokimia yang berbeda pada kedua sistem perairan tersebut.

Komposisi Ion Mayor

Komposisi ion mayor dianalisis untuk memahami karakteristik kimia air serta proses hidrogeokimia yang mengontrol sistem perairan di wilayah penelitian. Konsentrasi ion utama pada lima titik sampel disajikan pada Tabel 4 dalam satuan milliequivalent per liter (meq/L).

Tabel 4. Hasil analisis ion mayor pada 5 titik sampel

Ion	Sn1	Sn2	Sn3	Sm1	Sm2
	meq/L				
F^-	0,03	0,02	0,017	0,018	0,02
Cl^-	0,431	0,44	0,471	0,978	0,607
NO_3^-	0,411	0,4	0,399	0,012	0,323
SO_4^{2-}	0,284	0,23	0,214	0,054	0,295
HCO_3^-	1,09	1,01	1,06	8,52	1,032

Ion	Sn1	Sn2	Sn3	Sm1	Sm2
	meq/L				
Na^+	0,555	0,575	0,551	1,130	0,676
K^+	0,181	0,178	0,209	0,681	0,261
Ca^{2+}	1,271	1,329	1,389	4,825	1,542
Mg^{2+}	0,580	0,589	0,587	1,907	0,463
CBE (%)	7,027	11,958	11,749	-5,729	12,734

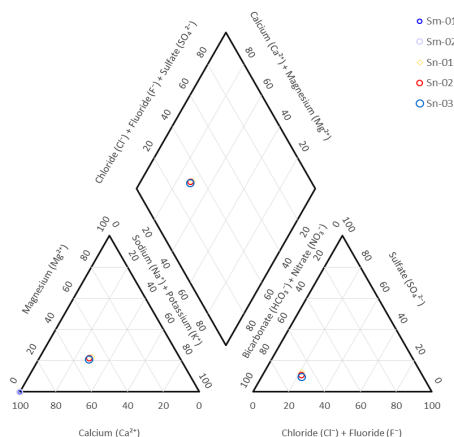
Pada air permukaan, komposisi anion didominasi oleh bikarbonat (HCO_3^-) dengan nilai 1,01–1,09 meq/L. Ion klorida dan nitrat merupakan anion sekunder dengan konsentrasi yang lebih rendah. Dominasi bikarbonat menunjukkan bahwa sistem perairan masih dipengaruhi oleh proses pelarutan mineral karbonat maupun silikat dari material vulkanik penyusun akuifer. Konsentrasi nitrat pada air sungai berkisar antara 0,399–0,411 meq/L. Nilai ini relatif tinggi dan mengindikasikan adanya kontribusi aktivitas antropogenik seperti limpasan domestik dan aktivitas perkotaan di sepanjang Sungai Cikapundung.

Pada air tanah, komposisi ion menunjukkan karakteristik yang berbeda. Sampel Sm1 memiliki konsentrasi bikarbonat yang jauh lebih tinggi (8,52 meq/L) dibandingkan sampel lainnya. Kondisi ini menunjukkan tingkat mineralisasi yang lebih besar akibat interaksi air tanah dengan material penyusun akuifer. Kation utama pada seluruh sampel didominasi oleh kalsium (Ca^{2+}), diikuti magnesium (Mg^{2+}) dan natrium (Na^+). Dominasi Ca^{2+} dan Mg^{2+} menunjukkan pengaruh proses pelapukan mineral silikat dan karbonat dari endapan vulkanik Cekungan Bandung.

Nilai Charge Balance Error (CBE) berkisar antara –5,73% hingga 12,73%. Nilai CBE yang sedikit melebihi 10% kemungkinan disebabkan oleh keterbatasan analisis ion minor atau ketidakpastian analisis laboratorium. Nilai ini masih berada dalam batas yang dapat diterima untuk analisis hidrogeokimia, sehingga data kimia air dapat digunakan untuk interpretasi lebih lanjut.

Fasies Kimia Air (Diagram Piper)

Diagram Piper digunakan untuk mengidentifikasi tipe kimia air serta memahami proses hidrogeokimia yang mengontrol komposisi ion utama. Hasil plot pada diagram Piper (Gambar 2) menunjukkan bahwa seluruh sampel air sungai maupun air tanah berada pada bidang fasies Ca–Mg– HCO_3 .



Gambar 2. Diagram Piper yang menunjukkan fasies hidrogeokimia Ca–Mg–HCO₃ pada sampel air permukaan Sungai Cikapundung (Sn1–Sn3) dan air tanah dari sumur warga (Sm1–Sm2) di kawasan Braga, Kota Bandung.

Fasies ini dicirikan oleh dominasi kation kalsium dan magnesium pada segitiga kation serta dominasi anion bikarbonat pada segitiga anion. Tipe air ini umumnya mencerminkan air meteoritik yang telah mengalami interaksi dengan material batuan penyusun akuifer (Freeze & Cherry, 1979; Appelo & Postma, 2005).

Dominasi ion Ca²⁺, Mg²⁺, dan HCO₃⁻ menunjukkan bahwa komposisi kimia air dikontrol oleh proses interaksi air–batuan pada endapan vulkanik Kuarter Cekungan Bandung. Pelapukan mineral silikat pada material vulkanik, seperti plagioklas, dapat melepaskan ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ ke dalam larutan, sedangkan reaksi antara CO₂ terlarut dengan mineral batuan menghasilkan alkalinitas dalam bentuk HCO₃⁻.

Kesamaan fasies kimia antara air sungai dan air tanah mengindikasikan adanya kontrol geokimia yang serupa serta kemungkinan interaksi hidraulik antara sungai dan akuifer dangkal di wilayah penelitian.

Analisis Kesesuaian dengan Standar Air Baku

Kualitas air dievaluasi dengan membandingkan hasil analisis parameter fisik dan kimia dengan baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023. Parameter yang dianalisis meliputi pH, TDS, nitrat (NO₃⁻), besi (Fe), dan mangan (Mn). Hasil evaluasi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Standar Baku dengan Air Permukaan dan Air Tanah.

Parameter	Baku Mutu	Kode Sampel				
		Sn1	Sn2	Sn3	Sm1	Sm2
pH	6,5 - 8,5	9,51	10,35	12,44	9,71	6
		Tidak memenuhi	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi
TDS mg/L	< 300	372	283	231	690	230
		Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Tidak memenuhi	Memenuhi
Nitrat (NO ₃ ⁻) mg/L	≤ 20	25,5	24,67	24,76	0,75	20,03
		Tidak memenuhi	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi	Memenuhi	Tidak memenuhi
Besi (Fe)	≤ 0,2	0,103	0,123	0,1	0,069	0,03

Parameter	Baku Mutu	Kode Sampel				
		Sn1	Sn2	Sn3	Sm1	Sm2
mg/L		Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Mangan (Mn)	$\leq 0,1$	0,093	0,073	0,078	1,295	0,021
mg/L		Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Tidak memenuhi	Memenuhi

Air permukaan Sungai Cikapundung pada seluruh titik sampling tidak memenuhi baku mutu pada parameter pH dan nitrat. Nilai pH yang berada di atas kisaran standar menunjukkan kondisi air yang bersifat basa. Konsentrasi nitrat yang melebihi batas baku mutu menunjukkan adanya kontribusi senyawa nitrogen dari aktivitas domestik dan limpasan permukiman di sepanjang aliran sungai.

Pada air tanah, kualitas air menunjukkan variasi antar lokasi. Sampel Sm1 tidak memenuhi baku mutu pada parameter TDS dan mangan. Nilai TDS yang tinggi menunjukkan tingkat mineralisasi yang lebih besar akibat interaksi air dengan material akuifer. Konsentrasi mangan yang tinggi juga mengindikasikan kemungkinan kondisi geokimia yang memungkinkan pelarutan unsur Mn.

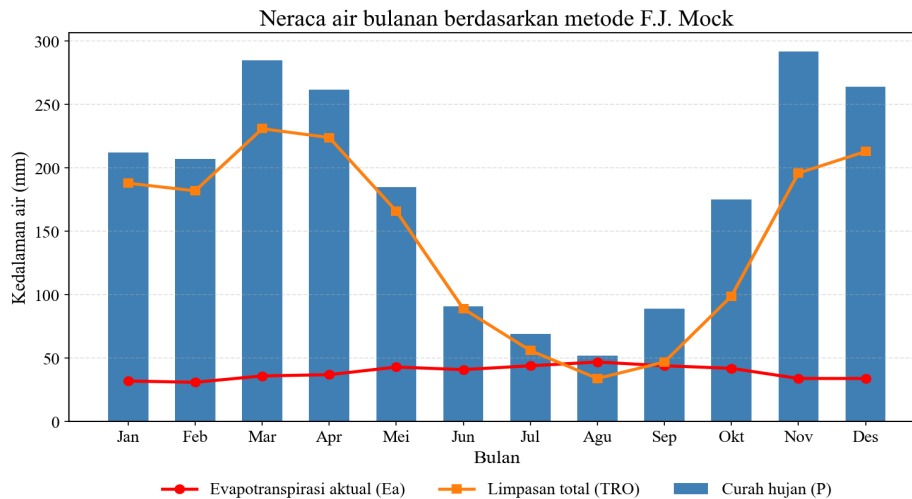
Sampel Sm2 menunjukkan kualitas air yang relatif lebih baik dibandingkan sampel lainnya, meskipun nilai pH masih berada di luar kisaran baku mutu dan konsentrasi nitrat sedikit melebihi batas yang ditetapkan.

Secara umum, hasil evaluasi menunjukkan bahwa kualitas air di kawasan Braga telah mengalami tekanan kualitas akibat aktivitas perkotaan. Kondisi ini terutama terlihat pada air permukaan Sungai Cikapundung, namun pengaruhnya juga mulai terlihat pada sistem air tanah dangkal.

Analisis Water Balance

Analisis neraca air dilakukan menggunakan metode F.J. Mock berdasarkan data curah hujan dari Stasiun Geofisika BMKG Bandung. Analisis ini bertujuan untuk menggambarkan hubungan antara curah hujan, evapotranspirasi aktual, dan limpasan total sebagai bagian dari dinamika hidrologi regional. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 3.

Curah hujan menunjukkan pola musiman yang jelas. Curah hujan tinggi terjadi pada periode November–Maret dengan kisaran 260–292 mm per bulan. Curah hujan terendah terjadi pada Juli–Agustus dengan nilai sekitar 52–69 mm. Pola ini mencerminkan karakteristik iklim monsun tropis di wilayah Jawa Barat.



Gambar 3. Neraca air bulanan berdasarkan metode F.J. Mock menggunakan data Stasiun Geofisika Bandung BMKG yang menunjukkan hubungan antara curah hujan, evapotranspirasi aktual, dan limpasan total sepanjang tahun.

Evapotranspirasi aktual relatif stabil sepanjang tahun dengan kisaran 31–47 mm per bulan. Variasi yang kecil menunjukkan bahwa kehilangan air melalui proses evaporasi dan transpirasi relatif dipengaruhi oleh kondisi iklim tropis yang stabil.

Limpasan total (Total Runoff, TRO) menunjukkan pola yang mengikuti variasi curah hujan. Nilai limpasan tinggi terjadi pada musim hujan dengan kisaran 196–231 mm per bulan, sedangkan nilai terendah terjadi pada bulan Agustus sekitar 34 mm.

Pola ini menunjukkan bahwa respon hidrologi wilayah penelitian sangat dipengaruhi oleh distribusi curah hujan. Peningkatan curah hujan akan meningkatkan limpasan permukaan, sedangkan pada periode kering kontribusi aliran dasar dan interaksi air tanah menjadi lebih dominan.

Dalam konteks penelitian ini, dinamika neraca air tersebut berperan dalam mempengaruhi karakteristik kualitas air di kawasan perkotaan. Pada periode hujan, limpasan permukaan dapat membawa material terlarut dari lingkungan perkotaan menuju Sungai Cikapundung. Sebaliknya, pada periode kemarau, kontribusi aliran dasar dan interaksi dengan air tanah dangkal menjadi lebih penting dalam mengontrol komposisi kimia air sungai.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem perairan di kawasan Braga, Kota Bandung dipengaruhi oleh interaksi antara kondisi geologi, dinamika hidrologi, dan aktivitas perkotaan. Karakteristik fisik air menunjukkan perbedaan antara air permukaan Sungai Cikapundung dan air tanah, yang mencerminkan perbedaan proses lingkungan pada kedua sistem perairan tersebut.

Analisis komposisi ion mayor dan diagram Piper menunjukkan bahwa seluruh sampel air termasuk dalam fasies hidrogeokimia Ca–Mg–HCO₃, yang mengindikasikan dominasi proses interaksi air–batuan pada endapan vulkanik penyusun akuifer di Cekungan Bandung.

Evaluasi terhadap standar baku mutu menunjukkan bahwa beberapa parameter tidak memenuhi batas yang ditetapkan, terutama pH dan nitrat pada air sungai, serta TDS dan

mangan pada salah satu sampel air tanah, yang mengindikasikan adanya pengaruh aktivitas antropogenik di lingkungan perkotaan.

Analisis neraca air menunjukkan bahwa dinamika hidrologi wilayah Bandung dikontrol oleh pola curah hujan musiman yang mempengaruhi limpasan permukaan serta potensi interaksi antara air sungai dan air tanah.

Secara keseluruhan, kualitas air pada segmen Sungai Cikapundung di kawasan Braga mencerminkan pengaruh kombinasi proses geogenik dari interaksi air–batuan dan tekanan antropogenik dari aktivitas perkotaan di sekitarnya.

REFERENSI

- Alloway, De Vries, W., Groenenberg, J. E., Lofts, S., Tipping, E., & Posch, M. (2012). Critical loads of heavy metals for soils. In *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability* (pp. 211–237). Springer.
- American Public Health Association (APHA). (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd ed.). American Public Health Association.
- Appelo, C. A. J., & Postma, D. (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution* (2nd ed.). CRC Press.
- Edmunds, W. M., Shand, P., Hart, P., & Ward, R. S. (2003). The natural (baseline) quality of groundwater: A UK pilot study. *Science of the Total Environment*. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00639-2](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00639-2)
- Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall.
- Hutasoit, L. M. (2009). Kondisi permukaan air tanah dengan tanpa peresapan buatan di daerah Bandung: Hasil simulasi numerik. *Jurnal Geologi Indonesia*, 4(3), 177–188. <https://doi.org/10.17014/ijog.4.3.177-188>
- Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace elements in soils and plants* (4th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10158>
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2023). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang peraturan pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang kesehatan lingkungan. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Mock, F. J. (1973). Land capability appraisal Indonesia: Water availability appraisal. FAO.
- Piper, A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Transactions, American Geophysical Union*, 25, 914–928. <https://doi.org/10.1029/TR025i006p00914>
- Puradimaja, D. J., & Lubis, R. F. (2006). Hydrodynamic relationships between groundwater and river water: Cikapundung River stream, West Java, Indonesia. *Geological Society of London*.
- Putra, R. E., Rustini, A., & Badhurahman, A. (2018). Persebaran kualitas air di daerah aliran Sungai Cikapundung hilir.
- Reimann, C., & de Caritat, P. (2017). *Chemical elements in the environment*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-72016-1>
- Sutherland, R. A. (2000). Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39, 611–627. <https://doi.org/10.1007/s002540050473>

- Taufiq, A., Hosono, T., Ide, K., Kagabu, M., Iskandar, I., Effendi, A. J., Hutasoit, L. M., & Shimada, J. (2018). Impact of excessive groundwater pumping on rejuvenation processes in the Bandung basin (Indonesia) as determined by hydrogeochemistry and modeling. *Hydrogeology Journal*, 26, 1263–1279. <https://doi.org/10.1007/s10040-017-1696-8>
- Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., & Burton, F. L. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Triatmodjo, B. (2008). *Hidrologi terapan*. Beta Offset.
- World Health Organization (WHO). (2017). *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed.). World Health Organization.
- World Water Assessment Programme. (2018). *The United Nations world water development report 2018: Nature-based solutions for water*. UNESCO.