Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air Vol. 7 No. 1 (2027) 153 - 165
© Departemen Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

JTRESDA

Journal homepage: https://jtresda.ub.ac.id/
p-ISSN : 2798-2386 I e-ISSN : 2798-3420

Analisis Hidrogeokimia Air Tanah Dangkal pada Kawasan Tambak di Hilir Sungai Porong Kabupaten Sidoarjo

Hydrogeochemical Analysis of Shallow Groundwater in the Fishpond Area of the Downstream Porong River Sidoarjo Regency

Nia Ayu Fadhila[1]*, Dian Chandrasasi[1], Emma Yuliani[1], Amelia Kusuma Indriastuti[2]

[1]Departemen Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Jalan MT. Haryono, Malang, 65145, Indonesia

[2]Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Jalan Prof. Soedarto, S.H., Semarang, 50275, Indonesia

Korespondensi Email :
niaayufadhila04@gmail.com

DOI:
https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2027.7.1.14

Kata kunci: Air Tanah Dangkal, Pola Aliran Air Tanah, Hidrogeokimia, Indeks Kualitas Air, Kawasan Tambak.

***Keywords**: Shallow Groundwater, Groundwater Flow Pattern, Hydrogeochemistry, Water Quality Index (WQI), Aquaculture Area.*

Article history:
Received: 28-09-2026
Accepted: 27-10-2026

Abstrak: Kawasan tambak hilir Sungai Porong, Kabupaten Sidoarjo masih memanfaatkan air tanah dangkal sebagai sumber air, namun kualitasnya berpotensi dipengaruhi oleh kondisi hidrogeologi, aktivitas tambak, dan kegiatan domestik. Penelitian ini bertujuan menganalisis pola aliran air tanah dangkal, karakteristik hidrogeokimia, serta hubungan pola aliran terhadap kualitas air tanah. Penelitian dilakukan pada lima titik sumur gali yang terdiri atas satu titik di Desa Besuki dan empat titik di Desa Permisan. Pola aliran air tanah dianalisis menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW), karakteristik hidrogeokimia menggunakan Diagram Piper, Stiff, dan Schoeller, sedangkan kualitas air dievaluasi menggunakan metode *Water Quality Index* (WQI). Hasil penelitian menunjukkan bahwa aliran air tanah bergerak dari timur ke barat mengikuti gradien hidrolik. Karakter hidrogeokimia didominasi oleh fasies Ca-HCO_3 dan Ca-Mg-HCO_3, sedangkan titik hilir menunjukkan dominasi ion Cl^-. Nilai WQI berkisar antara 52-1097, dengan satu titik berkategori baik dan empat titik tidak layak diminum. Sebagian parameter memenuhi baku mutu, sedangkan kekeruhan, TDS, Fe, PO_4^{3-}, serta beberapa parameter lainnya melebihi baku mutu. Berdasarkan hasil tersebut, pola aliran air tanah dan karakteristik hidrogeokimia berpengaruh terhadap distribusi kualitas air tanah, sehingga sebagian besar air tanah dangkal di kawasan penelitian tidak layak digunakan sebagai air minum.

***Abstract**: The downstream aquaculture area of the Porong River, Sidoarjo Regency, still relies on shallow groundwater as a water source; however, its quality is potentially affected by hydrogeological conditions, aquaculture activities, and domestic waste. This study*

**Penulis korespondensi: niaayufadhila04@gmail.com*

aimed to analyze the shallow groundwater flow pattern, hydro geochemical characteristics, and the relationship between groundwater flow and groundwater quality. The study was conducted at five dug wells, consisting of one well in Besuki Village and four wells in Permisan Village. The groundwater flow pattern was analyzed using the Inverse Distance Weighting (IDW) method, hydro geochemical characteristics were interpreted using Piper, Stiff, and Schoeller diagrams, while groundwater quality was evaluated using the Water Quality Index (WQI) method. The results indicate that groundwater generally flows from east to west following the hydraulic gradient. The hydro geochemical characteristics are dominated by the Ca-HCO_3 and Ca-Mg-HCO_3 facies, while the downstream area shows an increasing dominance of Cl^- ions. The WQI values range from 52 to 1097, with one sampling point classified as good and four points classified as unsuitable for drinking water. Although several parameters comply with the drinking water quality standards, turbidity, TDS, Fe, PO_4^{3-}, and several other parameters exceed the permissible limits. These findings indicate that groundwater flow patterns and hydro geochemical characteristics influence the spatial distribution of groundwater quality, resulting in most shallow groundwater in the study area being unsuitable for drinking purposes.

1. Pendahuluan

Air tanah dangkal merupakan sumber daya air yang masih dimanfaatkan oleh masyarakat untuk memenuhi berbagai kebutuhan domestik, khususnya di wilayah pesisir yang belum memperoleh layanan air bersih secara optimal. Kondisi kualitas air tanah tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik hidrogeologi dan interaksi antara air dengan material penyusun akuifer, tetapi juga oleh aktivitas manusia di permukaan. Kegiatan budidaya tambak, pertanian, maupun pembuangan limbah domestik dapat mengubah komposisi kimia air tanah sehingga berpengaruh terhadap kelayakannya untuk berbagai keperluan [1], [2].

Kawasan tambak di bagian hilir Sungai Porong, Kabupaten Sidoarjo, merupakan wilayah pesisir yang didominasi oleh endapan aluvial dengan pemanfaatan lahan utama berupa tambak perikanan. Karakteristik geologi tersebut berperan dalam mengendalikan proses pembentukan kualitas air tanah. Di sisi lain, tingginya intensitas aktivitas masyarakat pada kawasan ini juga berpotensi menyebabkan perubahan karakteristik hidrogeokimia. Meskipun demikian, air tanah dangkal masih dimanfaatkan sebagai salah satu sumber air sehingga diperlukan evaluasi mengenai kondisi hidrogeokimia serta kualitasnya sebagai dasar pengelolaan sumber daya air yang lebih berkelanjutan.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa interpretasi hidrogeokimia menggunakan Diagram Piper, Diagram Stiff, dan Diagram Schoeller mampu menggambarkan fasies air tanah sekaligus mengidentifikasi proses geokimia yang memengaruhi komposisi ion penyusunnya [3], [4]. Selain itu, metode *Water Quality Index* (WQI) telah banyak digunakan sebagai pendekatan kuantitatif untuk mengevaluasi mutu air berdasarkan kombinasi sejumlah parameter fisika dan kimia [5]. Penelitian terdahulu di wilayah hilir Sungai Porong juga mengindikasikan adanya interaksi antara air tanah dan air permukaan yang memengaruhi pola aliran maupun karakteristik hidrogeokimia [6]. Namun, kajian yang mengintegrasikan analisis pola aliran air tanah, karakteristik hidrogeokimia, dan evaluasi kualitas air menggunakan metode WQI pada kawasan tambak di hilir Sungai Porong masih relatif terbatas.

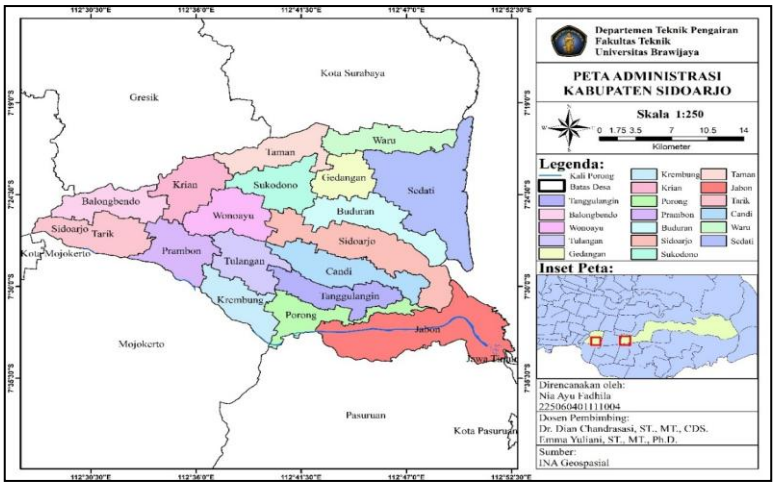
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pola aliran air tanah dangkal, mengidentifikasi karakteristik hidrogeokimia, serta mengevaluasi keterkaitan antara pola aliran dan kualitas air tanah pada kawasan tambak hilir Sungai Porong, Kabupaten Sidoarjo. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah yang mendukung upaya pengelolaan, pemantauan, dan pemanfaatan air tanah dangkal secara berkelanjutan.

2. Bahan dan Metode

2.1 Bahan

2.1.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di kawasan tambak yang berada di bagian hilir Sungai Porong, meliputi Desa Besuki dan Desa Permisan, Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur. Secara geografis, wilayah penelitian terletak pada koordinat 7°29'-7°33' LS dan 112°46'-112°49' BT. Kawasan ini termasuk wilayah pesisir yang berada pada bagian hilir Daerah Aliran Sungai (DAS) Porong dengan penggunaan lahan yang didominasi oleh tambak perikanan, disertai area pertanian dan permukiman. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kecamatan Jabon (2015), luas Desa Besuki mencapai sekitar 217 ha, sedangkan Desa Permisan memiliki luas sekitar 1.236 ha. Sebagian besar wilayah kedua desa dimanfaatkan sebagai lahan budidaya tambak. Dari aspek geologi, daerah penelitian tersusun oleh endapan aluvial yang membentuk akuifer air tanah dangkal sehingga berperan dalam mengendalikan karakteristik hidrogeokimia maupun kualitas air tanah.



Gambar 1: Lokasi Penelitian

2.1.2 Titik Pengambilan Sampel

Sampel penelitian berupa air tanah dangkal yang diperoleh dari lima sumur gali, yaitu satu sumur di Desa Besuki (BS-01) dan empat sumur di Desa Permisan (PN-01, PN-02, PN-03, dan PN-04). Penentuan lokasi pengambilan sampel dilakukan dengan mempertimbangkan persebaran sumur yang masih dimanfaatkan masyarakat serta kemampuannya dalam merepresentasikan kondisi kawasan penelitian. Pengambilan sampel air tanah mengacu pada SNI 6989.58:2008 mengenai metode pengambilan sampel air tanah. Sampel selanjutnya dianalisis untuk memperoleh karakteristik fisika dan kimia yang digunakan sebagai dasar interpretasi hidrogeokimia dan evaluasi kualitas air tanah.

Tabel 1: Titik Pengambilan Sampel

No	Desa	Kode Sumur	Titik Koordinat	
			X	Y
1	Besuki	BS - 01	112°43'12.24"	7°32'33.36"
2	Permisan	PN - 01	112°44'39.02"	7°32'31.06"
3	Permisan	PN - 02	112°44'38.09"	7°32'31.03"
4	Permisan	PN - 03	112°44'39.07"	7°32'32.06"
5	Permisan	PN - 04	112°44'39.05"	7°32'33.00"

2.1.3 Data Penelitian

1. Data Primer
   Data primer diperoleh melalui survei lapangan yang meliputi penentuan koordinat sumur, pengukuran elevasi muka air tanah, serta pengambilan sampel air tanah dangkal pada lima titik pengamatan. Sampel tersebut kemudian dianalisis untuk memperoleh parameter fisika berupa pH, kekeruhan, dan *Total Dissolved Solids* (TDS), serta parameter kimia yang meliputi Fe, PO_4^{3-}, NO_2^-, NO_3^-, dan N-NH_3.
2. Data Sekunder
   Data sekunder dikumpulkan dari berbagai sumber, meliputi citra Google Earth Pro, peta geologi, peta hidrogeologi, peta Cekungan Air Tanah (CAT), serta data hidrogeokimia dari penelitian Haromain, S. A. (2024). Seluruh data diolah menggunakan ArcMap 10.8, AquaChem 13.0, dan Microsoft Excel sebagai pendukung analisis pola aliran air tanah, interpretasi hidrogeokimia, serta perhitungan *Water Quality Index* (WQI).

2.2 Metode

Tahapan penelitian dilaksanakan melalui beberapa langkah sebagai berikut:

1. Melakukan survei awal menggunakan Google Earth Pro serta peta pendukung untuk menentukan batas wilayah penelitian dan menetapkan lokasi pengambilan sampel.
2. Melaksanakan pengukuran koordinat dan elevasi muka air tanah pada lima sumur gali yang telah dipilih sebagai dasar dalam analisis pola aliran air tanah.
3. Menganalisis pola aliran air tanah menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) pada perangkat lunak ArcMap 10.8 berdasarkan data elevasi muka air tanah yang diperoleh dari hasil pengukuran lapangan.
4. Mengambil sampel air tanah sesuai prosedur pengambilan sampel, kemudian melakukan pengujian laboratorium terhadap kimia. Hasil pengujian selanjutnya diinterpretasikan menggunakan AquaChem 13.0 melalui Diagram Piper, Diagram Stiff, dan Diagram Schoeller untuk mengidentifikasi karakteristik hidrogeokimia air tanah.
5. Mengevaluasi kualitas air tanah menggunakan metode *Water Quality Index* (WQI). Selanjutnya, hasil analisis pola aliran air tanah, karakteristik hidrogeokimia, dan nilai WQI diintegrasikan untuk mengkaji hubungan antara arah aliran air tanah dan kondisi kualitas air pada kawasan penelitian.

2.3 Persamaan

2.3.1 Muka Air Tanah

Analisis pola aliran air tanah didasarkan pada nilai elevasi muka air tanah yang dihitung untuk setiap titik pengamatan. Elevasi tersebut diperoleh dari selisih antara elevasi permukaan tanah (*Total Elevation*) dan kedalaman muka air tanah (*Static Water Level* / SWL). Perhitungan mengacu pada metode yang dikemukakan oleh Amah dan Agbebia (2015) [7], sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (1).

$$\boldsymbol{H_H = P_H + E_H = E - SWL} \qquad \text{Pers. 1}$$

dimana:

H_H = Tinggi muka air tanah (m)
E_H = Kedalaman air (m)
E = Tinggi total (m)
SWL = Ketinggian air sumur (m).

2.3.2 *Water Quality Index* (WQI)

Penilaian kualitas air tanah dilakukan menggunakan metode *Water Quality Index* (WQI) yang dikembangkan oleh Kumar *et al.* (2005) dalam Putri Y. N. (2018) [8]. Metode ini mengintegrasikan beberapa parameter kualitas air ke dalam satu nilai indeks sehingga kondisi mutu air dapat dievaluasi secara lebih komprehensif berdasarkan baku mutu yang mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023. Tahapan perhitungan meliputi penentuan nilai konstanta

proporsionalitas (*constant proportionality*, K), faktor pembobot (W), nilai kualitas (*quality rating*, q), hingga perhitungan nilai akhir WQI yang disajikan pada Persamaan (2) sampai Persamaan (5).

$$K = 1/\left[\sum_{n=1}^{n} 1/vs\right] \quad \text{Pers. 2}$$

$$W = K/vs \quad \text{Pers. 3}$$

$$q = \frac{(v_a - v_i)}{(v_s - v_i)} \times 100 \quad \text{Pers. 4}$$

$$WQI = Antilog\left(\sum_{n=1}^{n} W_n \log q\, n\right) \quad \text{Pers. 5}$$

dimana:

K = *Constant proportionality*
W = Faktor pembobot setiap parameter
q = *Quality rating*
va = Hasil pengujian laboratorium untuk setiap parameter
vs = Nilai baku mutu berdasarkan Permenkes Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023
vi = Nilai ideal ideal setiap parameter, yaitu 7 untuk pH dan 0 untuk parameter lainnya.

Tabel 2: Klasifikasi Kualitas Air Berdasarkan Nilai WQI Permenkes No.2 Tahun 2023

Water Quality Index	Deskripsi
< 50	Sangat baik
50 - 100	Baik
100 - 200	Buruk
200 - 300	Sangat buruk
> 300	Tidak layak diminum

3. Hasil dan Pembahasan

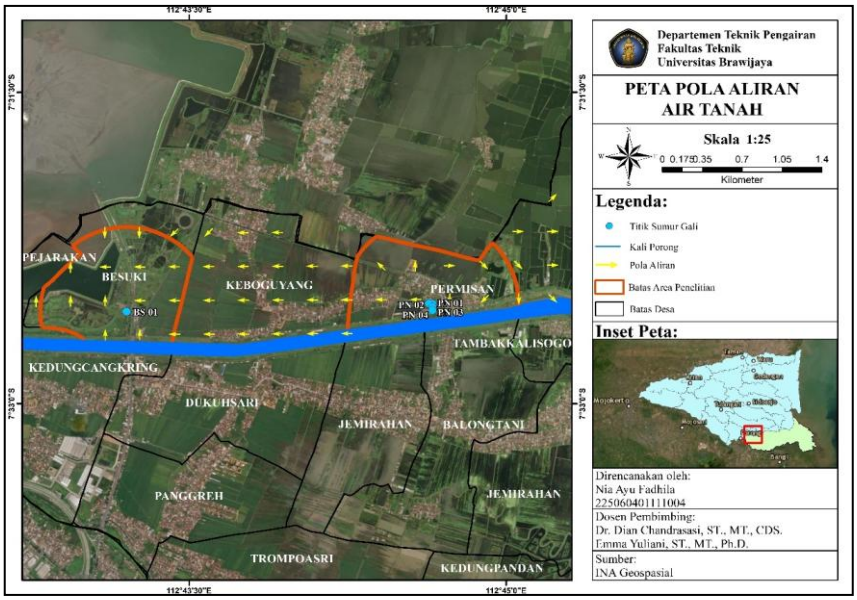
3.1 Pola Aliran Air Tanah Dangkal

Analisis pola aliran air tanah dilakukan berdasarkan data elevasi muka air tanah yang diperoleh dari lima titik sumur gali. Data tersebut diolah menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) pada ArcMap 10.8 untuk menghasilkan peta pola aliran air tanah. Hasil analisis menunjukkan bahwa elevasi muka air tanah berkisar antara 16.41-24.00 m yang disajikan pada Tabel 3, dengan arah aliran dominan bergerak dari timur menuju barat mengikuti gradien hidrolik dari daerah yang memiliki elevasi lebih tinggi menuju elevasi yang lebih rendah.

Pola aliran tersebut membentuk tiga jalur utama aliran, yaitu: (1) jalur aliran PN-02→PN-03→PN-04→BS-01, (2) jalur aliran PN-03→BS-01, dan (3) jalur aliran PN-02→PN-01. Ketiga jalur tersebut bermuara ke bagian barat sebagai daerah *discharge*. Pola ini menunjukkan bahwa kawasan bagian timur berperan sebagai *recharge*, sedangkan bagian barat merupakan daerah *discharge*. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh topografi wilayah dan karakteristik akuifer alluvial yang mendominasi kawasan penelitian, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.

Tabel 3: Data Hasil Penelitian

No	Desa	Kode Sumur	Titik Koordinat		El. MT	El. MAT	D
			X	Y	(m)	(m)	(m)
1	Besuki	BS - 01	112°43'12.24"	7°32'33.36"	17	16.58	0.42
2	Permisan	PN - 01	112°44'39.02"	7°32'31.06"	18	16.41	1.59
3	Permisan	PN - 02	112°44'38.09"	7°32'31.03"	24	22.60	1.40
4	Permisan	PN - 03	112°44'39.07"	7°32'32.06"	22	21.20	0.80
5	Permisan	PN - 04	112°44'39.05"	7°32'33.00"	18	17.29	0.71



Gambar 2: Peta Pola Aliran Air Tanah

3.2 Karakteristik Hidrogeokimia Air Tanah

Karakteristik hidrogeokimia air tanah dangkal dianalisis berdasarkan hasil pengujian lapangan, pengujian laboratorium, serta data ion utama dari penelitian Haromain, S. A. (2024). Pengujian lapangan meliputi parameter pH, kekeruhan, dan *Total Dissolved Solids* (TDS), sedangkan pengujian laboratorium meliputi Fe, N-NH_3, NO_2^-, NO_3^-, dan PO_4^{3-}. Data ion utama Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, HCO_3^-, Cl^-, dan SO_4^{2-} digunakan sebagai dasar interpretasi hidrogeokimia. Rekapitulasi hasil pengujian disajikan pada Tabel 4. Penilaian kualitas air tanah mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 dan dilengkapi dengan acuan World Health Organization (WHO, 2017). Penggunaan acuan WHO didasarkan pada belum tercantumnya baku mutu untuk beberapa parameter ion utama, baik kation maupun anion, dalam peraturan Permenkes No. 2 Tahun 2023. Oleh karena itu, acuan WHO digunakan sebagai pembanding bagi parameter yang belum tercakup, sehingga penilaian kualitas air tanah dapat dilakukan secara lebih menyeluruh.

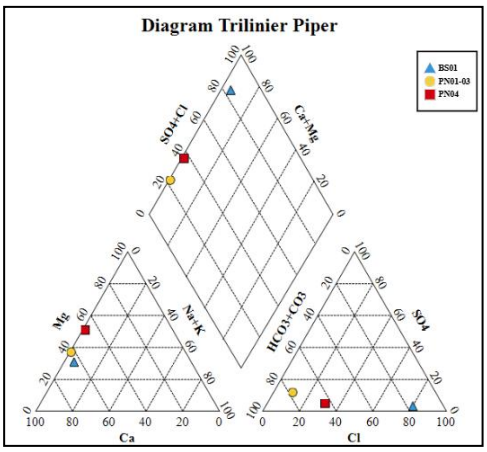
Berdasarkan hasil pengujian, parameter pH, NO_2^-, NO_3^-, Mg^{2+}, Na^+, dan SO_4^{2-} masih memenuhi baku mutu, sedangkan kekeruhan, TDS, Fe, dan PO_4^{3-} melebihi baku mutu pada seluruh titik pengamatan. Selain itu, parameter N-NH_3, Ca^{2+}, dan Cl^- hanya melebihi baku mutu pada beberapa titik tertentu. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kualitas air tanah dipengaruhi oleh proses alami berupa interaksi air dengan material penyusun akuifer serta aktivitas antropogenik, seperti tambak, pertanian, dan permukiman. Selanjutnya, karakteristik hidrogeokimia air tanah diinterpretasikan menggunakan Diagram Piper, Diagram Stiff, dan Diagram Schoeller.

Tabel 4: Rekapitulasi Perbandingan Nilai Terukur dan Nilai Baku Mutu

No	Parameter	Kode Sumur					Baku Mutu	Acuan Standar
		BS - 01	PN - 01	PN - 02	PN - 03	PN - 04		
1	pH	7.08	7.20	7.12	7.52	7.54	6.5 - 8.5	Permenkes
2	Kekeruhan (NTU)	19.80	29.43	17.04	24.03	27.27	< 3	Permenkes
3	TDS (mg/L)	1490	530	410	930	930	< 300	Permenkes
4	Fe (mg/L)	-	1.82	0.97	1.26	1.53	0.2	Permenkes
5	N-NH_3 (mg/L)	1.21	1.45	2.68	1.81	1.92	1.5	Permenkes
6	NO_2^- (mg/L)	0.05	0.04	0.10	0.06	0.06	3	Permenkes
7	NO_3^- (mg/L)	0.50	0.18	19.95	3.39	1.65	20	Permenkes
8	PO_4^{3-} (mg/L)	5.97	6.26	11.53	3.74	4.27	0.2	Permenkes
9	Ca^{2+} (mg/L)	11.67	131.3	131.3	131.3	66.02	75	WHO
10	Mg^{2+} (mg/L)	3.396	47.08	47.08	47.08	42.56	50	WHO
11	Na^+ (mg/L)	0.651	0.765	0.765	0.765	1.161	200	WHO
12	Cl^- (mg/L)	460.7	29.4	29.4	29.4	90.5	250	WHO
13	SO_4^{2-} (mg/L)	22.19	42.52	42.52	42.52	18.16	250	WHO

3.2.1 Diagram Piper

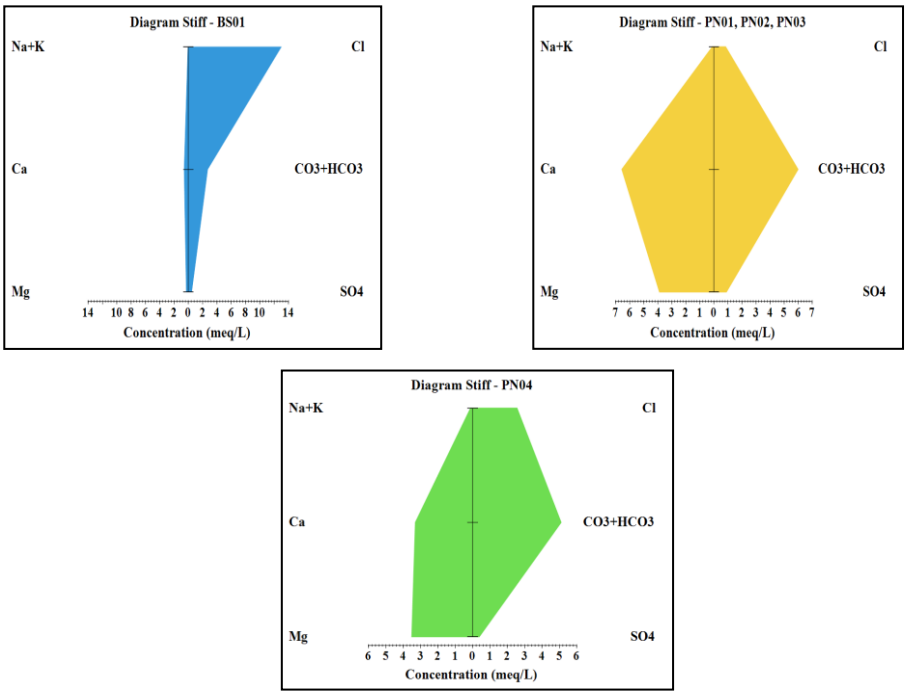
Interpretasi Diagram Piper menunjukkan bahwa air tanah di kawasan penelitian didominasi oleh fasies Ca-HCO_3 dan Ca-Mg-HCO_3 yang disajikan pada Gambar 3. Fasies tersebut mengindikasikan bahwa komposisi kimia air tanah masih dipengaruhi oleh proses pelarutan mineral karbonat yang berasal dari material penyusun akuifer. Pada beberapa titik juga terlihat kecenderungan peningkatan kandungan ion klorida, terutama pada lokasi yang berada lebih dekat dengan kawasan pesisir dan tambak, yang menunjukkan adanya pengaruh lingkungan terhadap perubahan komposisi kimia air tanah.



Gambar 3: Hasil Analisis Diagram Piper

3.2.2 Diagram Stiff

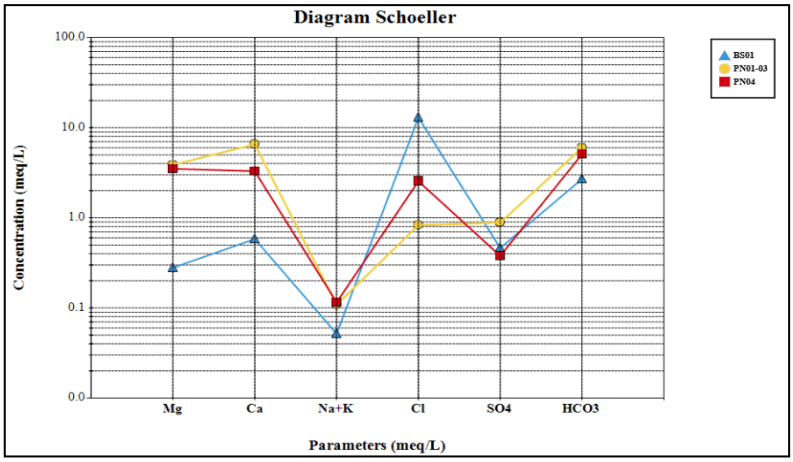
Diagram Stiff menunjukkan variasi bentuk poligon pada setiap titik pengamatan yang mencerminkan perbedaan komposisi ion utama penyusun air tanah. Sampel yang berada pada jalur aliran yang sama memiliki bentuk poligon yang relatif serupa, sedangkan perubahan bentuk poligon pada beberapa titik menunjukkan adanya perubahan komposisi ion akibat proses interaksi air-batuan maupun pengaruh aktivitas di sekitar lokasi penelitian. Diagram ini memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai karakteristik hidrogeokimia pada setiap jalur aliran air tanah. Berikut Gambar 4 hasil dari analisis Diagram Stiff.



Gambar 4: Hasil Analisis Diagram Stiff

3.2.3 Diagram Schoeller

Diagram Schoeller memperlihatkan pola distribusi konsentrasi ion utama pada seluruh sampel air tanah yang ditampilkan pada Gambar 5. Secara umum, ion Ca^{2+} dan HCO_3^- merupakan ion yang dominan, sedangkan peningkatan konsentrasi Cl^- pada beberapa titik menunjukkan adanya pengaruh lingkungan pesisir maupun aktivitas tambak. Kesamaan pola antar sampel menunjukkan bahwa air tanah berasal dari sistem akuifer yang relatif sama, namun mengalami variasi komposisi akibat kondisi hidrogeologi setempat.



Gambar 5: Hasil Analisis Diagram Schoeller

3.3 Kualitas Air Tanah Dangkal dan *Water Quality Index* (WQI)

Kualitas air tanah dangkal dievaluasi berdasarkan hasil pengujian parameter fisika dan kimia menggunakan metode *Water Quality Index* (WQI). Rekapitulasi hasil pengujian menunjukkan bahwa parameter pH, NO_2^-, NO_3^-, Mg^{2+}, Na^+, dan SO_4^{2-} masih memenuhi baku mutu, sedangkan kekeruhan, TDS, dan PO_4^{3-} melebihi baku mutu pada seluruh titik pengamatan. Konsentrasi Fe melebihi baku mutu pada PN-01, PN-02, PN-03, dan PN-04, sementara pada BS-01 tidak terdeteksi. Selain itu, parameter $N\text{-}NH_3$, Ca^{2+}, dan Cl^- melebihi baku mutu pada beberapa titik pengamatan. Tingginya nilai TDS dan Cl^- mengindikasikan adanya pengaruh lingkungan pesisir dan aktivitas tambak terhadap kandungan zat terlarut dalam air tanah. Sementara itu, tingginya konsentrasi Fe menunjukkan kondisi akuifer yang jenuh air sehingga meningkatkan pelarutan unsur besi.

Perhitungan *Water Quality Index* (WQI) dilakukan melalui tahapan penentuan nilai konstanta proporsionalitas (K), faktor pembobot (W), nilai kualitas (q), dan nilai akhir WQI sesuai metode Kumar *et al.* (2005) dalam Putri Y. N. (2018). Hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 7 menunjukkan nilai WQI berkisar antara 52-1097. Sampel PN-01, PN-02, PN-03, dan PN-04 memiliki nilai WQI masing-masing sebesar 1040, 1097, 740, dan 855, sehingga termasuk dalam kategori tidak layak untuk air minum berdasarkan klasifikasi yang digunakan. Tingginya nilai WQI merupakan hasil kontribusi gabungan parameter yang melebihi baku mutu, dengan mempertimbangkan nilai kualitas dan bobot setiap parameter.

Sampel BS-01 memiliki nilai WQI sebesar 52 yang termasuk dalam kategori baik, meskipun konsentrasi Cl^- merupakan yang tertinggi di antara seluruh sampel. Kondisi tersebut disebabkan oleh penentuan WQI berdasarkan gabungan nilai kualitas dan bobot setiap parameter, sehingga konsentrasi Cl^- tertinggi tidak serta-merta menghasilkan nilai WQI tertinggi. Selain itu, Fe pada BS-01 tidak terdeteksi sehingga tidak memberikan kontribusi dalam perhitungan indeks yang digunakan. Kondisi ini dapat menyebabkan nilai WQI BS-01 relatif lebih rendah dibandingkan sampel lainnya, yang memiliki konsentrasi Fe melebihi baku mutu. Oleh karena itu, kategori baik pada BS-01 perlu diinterpretasikan secara hati-hati dengan mempertimbangkan hasil pengujian setiap parameter serta keterbatasan data Fe. Kategori tersebut belum cukup untuk menyatakan bahwa air pada BS-01 memenuhi seluruh persyaratan kualitas air minum. Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa sebagian besar air tanah dangkal di kawasan penelitian memerlukan pengolahan sebelum digunakan sebagai air minum.

Tabel 5: Nilai W

No	Parameter	W
1	pH	0.0102
2	Kekeruhan	0.0289
3	TDS	0.0003
4	Fe	0.4329
5	$N\text{-}NH_3$	0.0577
6	NO_2^-	0.0289
7	NO_3^-	0.0043
8	PO_4^{3-}	0.4329
9	Ca^{2+}	0.0012
10	Mg^{2+}	0.0017
11	Na^+	0.0004
12	Cl^-	0.0003
13	SO_4^{2-}	0.0003

Tabel 6: Nilai q

No	Kode Sumur	q pH	q kekeruhan	q TDS	q Fe	q $N\text{-}NH_3$	q NO_2^-
1	BS - 01	5.1	660.0	496.7	-	80.7	1.7
2	PN - 01	13.3	981.1	176.7	910.0	96.7	1.3
3	PN - 02	7.8	568.0	136.7	485.0	178.7	3.3
4	PN - 03	34.9	801.1	310.0	630.0	120.7	2.0
5	PN - 04	36.2	908.9	310.0	765.0	128.0	2.0

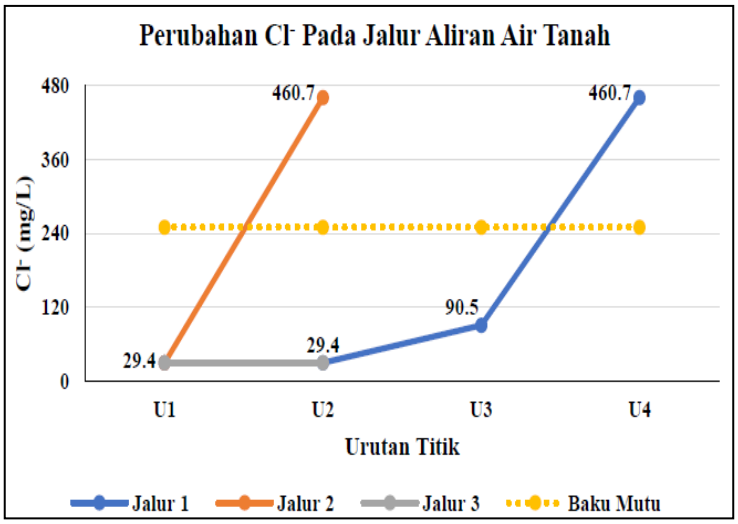
No	Kode Sumur	q NO_3^-	q PO_4^{3-}	q Ca^{2+}	q Mg^{2+}	q Na^+	q Cl^-	q SO_4^{2-}
1	BS - 01	2.5	2985	15.6	6.8	0.3	184.3	8.9
2	PN - 01	0.9	3130	175.1	94.2	0.4	11.8	17.0
3	PN - 02	99.8	5765	175.1	94.2	0.4	11.8	17.0
4	PN - 03	17.0	1870	175.1	94.2	0.4	11.8	17.0
5	PN - 04	8.3	2135	88.0	85.1	0.6	36.2	7.3

Tabel 7: Hasil Nilai WQI *(Water Quality Index)*

No	Kode Sumur	Titik Koordinat		WQI	Tingkat Kualitas
		X	Y		
1	BS - 01	112°43'12.24"	7°32'33.36"	52	Baik
2	PN - 01	112°44'39.02"	7°32'31.06"	1040	Tidak layak diminum
3	PN - 02	112°44'38.09"	7°32'31.03"	1097	Tidak layak diminum
4	PN - 03	112°44'39.07"	7°32'32.06"	740	Tidak layak diminum
5	PN - 04	112°44'39.05"	7°32'33.00"	855	Tidak layak diminum

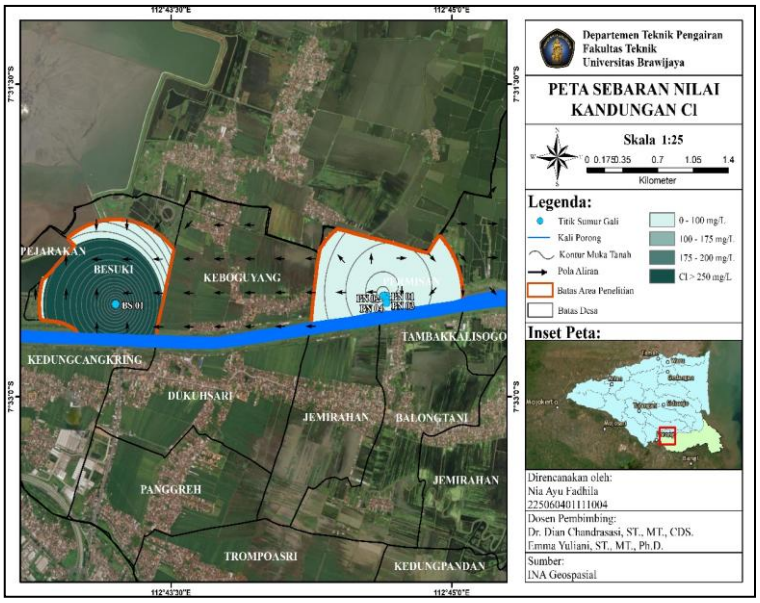
3.4 Hubungan Pola Aliran Air Tanah, Karakteristik Hidrogeokimia, dan Kualitas Air Tanah

Hubungan antara pola aliran air tanah, karakteristik hidrogeokimia, dan kualitas air tanah dianalisis melalui integrasi peta pola aliran, hasil interpretasi hidrogeokimia, peta sebaran ion utama, serta nilai *Water Quality Index* (WQI). Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan karakteristik kimia air tanah sepanjang jalur aliran dan kaitannya dengan kualitas air tanah. Salah satu contoh distribusi ion utama yang menjadi dasar interpretasi ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Adapun hasil integrasi antara pola aliran air tanah, karakteristik hidrogeokimia, dan nilai *Water Quality Index* (WQI) disajikan pada Gambar 8.



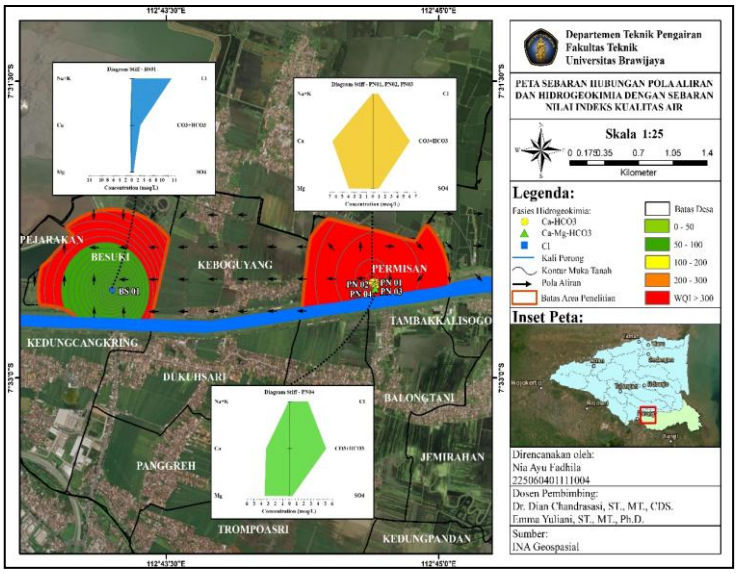
Keterangan:
Jalur 1: PN-02→PN-03→PN-04→BS-01
Jalur 2: PN 03→BS-01
Jalur 3: PN 02→PN-01
Nilai Baku Mutu: 250 mg/L

Gambar 6: Grafik Hubungan Pola Aliran Air Tanah dengan Nilai Cl^-



Gambar 7: Peta Sebaran Nilai Cl^-

Berdasarkan Gambar 7, kandungan ion Cl^- menunjukkan variasi pada setiap titik pengamatan. Konsentrasi tertinggi terdapat pada BS-01, sedangkan titik PN-01, PN-02, PN-03, dan PN-04 memiliki konsentrasi yang relatif lebih rendah. Tingginya kandungan Cl^- pada BS-01 diduga dipengaruhi oleh kedekatan lokasi dengan kawasan tambak dan lingkungan pesisir sehingga meningkatkan kandungan garam terlarut dalam air tanah. Selanjutnya, hasil integrasi pada Gambar 8 menunjukkan bahwa pola aliran air tanah membentuk tiga jalur aliran, yaitu PN-02→PN-03→PN-04→BS-01, PN-03→BS-01, dan PN-02→PN-01, dengan arah umum dari timur menuju barat mengikuti gradien hidrolik. Interpretasi hidrogeokimia menunjukkan dominasi fasies $Ca\text{-}HCO_3$ dan $Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$, yang mengindikasikan pengaruh pelarutan material karbonat penyusun akuifer. Pada bagian hilir, perubahan komposisi ion, terutama peningkatan kandungan Cl^-, diikuti oleh meningkatnya nilai WQI, sehingga sebagian besar sampel (PN-01, PN-02, PN-03, dan PN-04) termasuk kategori tidak layak untuk air minum, sedangkan BS-01 masih termasuk kategori baik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kualitas air tanah di kawasan penelitian dipengaruhi oleh interaksi antara arah aliran air tanah, kondisi hidrogeologi, dan aktivitas antropogenik seperti tambak, pertanian, dan permukiman.



Gambar 8: Peta Hubungan Pola Aliran dan Hidrogeokimia Air Tanah Dangkal dengan Kualitas Air Tanah

Berdasarkan Gambar 8 hasil integrasi pola aliran air tanah, karakteristik hidrogeokimia, dan nilai *Water Quality Index* (WQI) menunjukkan adanya variasi komposisi kimia air tanah di sepanjang jalur aliran. Air tanah pada bagian timur didominasi oleh fasies Ca-HCO_3 dan Ca-Mg-HCO_3, sedangkan bagian barat menunjukkan peningkatan dominasi ion Cl^-. Nilai WQI mengindikasikan bahwa hampir seluruh lokasi penelitian termasuk kategori tidak layak diminum, kecuali titik BS-01 yang berada pada kategori baik. Tiga jalur aliran yang teridentifikasi menunjukkan variasi kualitas air tanah dengan parameter kekeruhan, TDS, Fe, dan PO_4^{3-} umumnya melampaui baku mutu, sementara pH, NO_2^-, NO_3^-, Na^+, Mg^{2+}, dan SO_4^{2-} masih memenuhi baku mutu. Secara keseluruhan, variasi karakteristik hidrogeokimia dan kualitas air tanah menunjukkan bahwa pola aliran air tanah, interaksi dengan material akuifer, serta aktivitas di permukaan memengaruhi distribusi zat terlarut di lokasi penelitian.

3.5 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Hasil interpretasi hidrogeokimia dalam penelitian ini menunjukkan dominasi fasies Ca-HCO_3 dan Ca-Mg-HCO_3. Pada tingkat kelompok ion, karakteristik tersebut sejalan dengan temuan Haromain et al. (2024), yang menunjukkan dominasi kation alkali tanah dan anion asam lemah pada air tanah dan air Sungai Porong [15]. Namun, kesesuaian tersebut perlu dipahami dengan mempertimbangkan sumber data yang digunakan. Data ion utama Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, HCO_3^-, Cl^-, dan SO_4^{2-} dalam penelitian ini berasal dari penelitian Haromain, S. A. (2024) [6]. Pemilihan titik rujukan didasarkan pada kesamaan jalur aliran air tanah, posisi hidrologi, dan kedekatan lokasi dengan sumur penelitian. Dengan demikian, fasies yang diperoleh merupakan hasil pengolahan kembali data sekunder sebagai pendekatan interpretatif terhadap kondisi hidrogeokimia lokasi penelitian, bukan hasil pengujian ion utama secara independen.

Penelitian ini mengembangkan pemanfaatan data hidrogeokimia tersebut melalui integrasi interpretasi Diagram Piper, Stiff, dan Schoeller dengan pola aliran serta evaluasi kualitas air tanah pada kawasan tambak di hilir Sungai Porong. Berbeda dengan data ion utama, data pH, kekeruhan, TDS, Fe, N-NH_3, NO_2^-, NO_3^-, dan PO_4^{3-} diperoleh melalui pengukuran lapangan dan pengujian laboratorium terhadap sampel yang diambil secara independen dalam penelitian ini. Oleh karena itu, evaluasi WQI menggabungkan data primer hasil pengujian dengan data sekunder ion utama. Penggunaan kedua sumber data tersebut perlu dipertimbangkan dalam interpretasi hasil karena seluruh parameter tidak berasal dari pengambilan sampel yang sama.

Dari aspek kualitas air, Putri, Y. N. (2018) menyatakan variasi kategori WQI di Kecamatan Porong, yaitu tiga desa berkategori sangat baik, dua desa berkategori baik, satu desa berkategori cukup, satu desa berkategori buruk, dan delapan desa berkategori tidak layak untuk air minum [8]. Penelitian ini juga menunjukkan variasi kualitas air tanah, dengan BS-01 memiliki nilai WQI sebesar 52 dan termasuk kategori baik, sedangkan PN-01, PN-02, PN-03, dan PN-04 memiliki nilai WQI masing-masing sebesar 1040, 1097, 740, dan 855 serta termasuk kategori tidak layak untuk air minum. Persamaan kedua penelitian terletak pada adanya variasi kualitas air tanah secara spasial dan ditemukannya lokasi yang tidak layak untuk air minum. Perbedaannya terletak pada cakupan wilayah, Putri, Y. N. (2018) mengkaji Kecamatan Porong, sedangkan penelitian ini berfokus pada lima sumur di kawasan tambak Desa Besuki dan Desa Permisan, Kecamatan Jabon.

Perbandingan nilai WQI antara kedua penelitian perlu mempertimbangkan parameter, baku mutu, pembobotan, dan klasifikasi yang digunakan. Publikasi Putri, Y. N. dan Siswoyo, H. (2019) menggunakan parameter TDS, kekeruhan, Cl^-, $CaCO_3$, F^-, NO_3^-, Fe, dan pH [16], sedangkan penelitian ini menggunakan kombinasi parameter yang disajikan pada Tabel 4. Perbedaan parameter membatasi perbandingan langsung besaran indeks, sehingga pembahasan difokuskan pada variasi kategori kualitas air dan konteks lokasi pengamatan. Hasil kedua penelitian tidak dapat digunakan secara langsung untuk menyimpulkan perubahan kualitas air dari waktu ke waktu karena lokasi dan dasar perhitungannya tidak sepenuhnya sama. Secara keseluruhan, penelitian ini melengkapi kajian terdahulu melalui integrasi pola aliran, interpretasi hidrogeokimia berbasis data sekunder, dan evaluasi kualitas air yang didukung oleh pengujian primer pada kawasan tambak hilir Sungai Porong.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa pola aliran air tanah dangkal di kawasan tambak hilir Sungai Porong bergerak dari timur ke barat mengikuti gradien hidrolik dan membentuk tiga jalur aliran yang menghubungkan daerah *recharge* dan *discharge*. Analisis hidrogeokimia menunjukkan bahwa air tanah didominasi oleh fasies Ca-HCO_3 dan Ca-Mg-HCO_3 yang mencerminkan pengaruh pelarutan mineral karbonat pada akuifer, sedangkan pada beberapa lokasi terjadi peningkatan dominasi ion Cl^- yang berkaitan dengan aktivitas budidaya tambak dan kondisi lingkungan sekitar. Hasil evaluasi menggunakan metode *Water Quality Index* (WQI) menunjukkan bahwa satu titik sumur termasuk kategori baik, sedangkan empat titik lainnya diklasifikasikan sebagai tidak layak untuk air minum. Parameter yang paling berkontribusi terhadap penurunan kualitas air adalah kekeruhan, TDS, Fe, dan PO_4^{3-}, sementara N-NH_3, Ca^{2+}, dan Cl^- hanya melebihi baku mutu pada lokasi tertentu. Secara keseluruhan, hasil penelitian menegaskan bahwa variasi kualitas air tanah dangkal dipengaruhi oleh interaksi antara kondisi hidrogeologi, arah aliran air tanah, karakteristik hidrogeokimia, serta aktivitas budidaya tambak, pertanian, dan permukiman. Pendekatan integrasi pola aliran, hidrogeokimia, dan WQI dapat digunakan sebagai dasar dalam pemantauan, pengelolaan, dan pemanfaatan air tanah dangkal secara berkelanjutan di kawasan tambak hilir Sungai Porong.

Daftar Pustaka

[1] Todd and Mays, Groundwater Hydrology Third Edition. United States of America, 2005.

[2] Bisri. Mohammad, Air Tanah. Universitas Brawijaya Press, 2012.

[3] M. Aiko et al, "Analisis Hidrogeokimia Air Tanah di Kabupaten Rembang Bagian Barat , Jawa Tengah , Indonesia," 2023.

[4] M. Aiko et al, "Analisis Hidrogeokimia Dan Logam Berat Pada Air Tanah Menggunakan Metode WQI Dan HPI Untuk Keperluan Higiene Sanitasi Kabupaten Belitung Timur," Ejournal Universitas Diponegoro, 2023.

[5] K. S. Kumar, Ch. S. Kumar, K. H. Prasad, B. Rajesh, R. S. Prasad, and T. Venkatesh, "Assessment of Water Quality of Groundwater Quality Using Water Quality Index," Journal of Innovative in Advanced Engineering, vol. 3, no. 2, 2015.

[6] S. A. Haromain, "Pola Interaksi Air Tanah Dan Air Sungai Di Wilayah Sungai Porong Kabupaten Sidoarjo," Tesis, Universitas Brawijaya, 2024.

[7] E. A. Amah and M. A. Agbebia, "Determination of Groundwater Flow Direction in Ekintae Limestone Quarry Near Mfamosing, South-Eastern, Nigeria," International Journal of Geology, Agriculture and Environmental Sciences, 2015.

[8] Y. N. Putri, "Pemetaan Pola Aliran dan Indeks Kualitas Air Tanah di Kecamatan Porong Kabupaten Sidoarjo," Skripsi, Universitas Brawijaya, 2018.

[9] Menteri Kesehatan Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum," Jakarta, 2023.

[10] D. Chandrasasi et al, Conceptual model of heavy metals contaminant in groundwater flow of Sidoarjo Regency, East Java., AIP Conference Proceedings, 2638, 2023.

[11] D. Chandrasasi, L. Prasetyorini and E. Yuliani, Characteristics of hydrogeological aquifer in potential lime stone by analysis pumping test in Campurdarat District, Tulungagung Regency, Indonesia., IOP Conference Series, 1311, 2024.

[12] R. J. Kodoatie, Pengantar Hidrogeologi. Yogyakarta: Yayasan Indayu, 1996.

[13] Y. N. Putri, " Pemetaan Pola Aliran dan Indeks Kualitas Air Tanah di Kecamatan Porong Kabupaten Sidoarjo," Skripsi, Universitas Brawijaya, 2018.

[14] CD. Ir. Soemarto, Hidrologi untuk Teknik. Jakarta: Erlangga, 1995.

[15] S. A. Haromain, E. Yuliani, U. Andawayanti, T. Imai, and F. S. Aliyah, "Interaction between Ground Water and Surface Water in Porong River, Sidoarjo," Jurnal Teknik Pengairan, vol. 15, no. 1, pp. 22-36, 2024.

[16] Y. N. Putri and H. Siswoyo, "Pemetaan Pola Aliran dan Indeks Kualitas Air Tanah di Kecamatan Porong Kabupaten Sidoarjo," Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan, vol. 2, no. 2, 2019