Interaksi Air Tanah dan Air Permukaan Sungai Asem Ruas antara Bendung Jurang Dawir sampai Bendung Brugpurwo

Ambar Wulan Hasti Pertiwi
Departemen Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
E-mail: ambarwhp@student.ub.ac.id
Hari Siswoyo
Departemen Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
E-mail: hari_siswoyo@ub.ac.id
Linda Prasetyorini
Departemen Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
E-mail: linda_prasetyorini@ub.ac.id

Abstrak

Proses interaksi air tanah dan air permukaan dapat memengaruhi kuantitas dan kualitas air keduanya. Adanya aktivitas pertanian, industri, dan domestik di sekitar aliran Sungai Asem berpotensi mencemari air tanah maupun sungai. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi fenomena interaksi air tanah dan air permukaan di sepanjang aliran Sungai Asem pada ruas antara Bendung Jurang Dawir hingga Bendung Brugpurwo. Pengamatan dilakukan pada 5 penampang selama 21 hari. Parameter fisik-kimiawi air yang diamati meliputi pH, suhu, total padatan terlarut, dan daya hantar listrik. Data hasil pengukuran dianalisis secara statistik dengan menggunakan analisis deret waktu, analisis korelasi, analisis komponen utama, dan analisis klaster. Kesamaan pola fluktuasi parameter fisik-kimiawi antara air tanah dan air permukaan menunjukkan adanya keterkaitan dan potensi pertukaran air. Keterkaitan tersebut diperkuat oleh hasil analisis korelasi yang menunjukkan hubungan positif sehingga perubahan kualitas air tanah dan air permukaan terjadi secara searah. Parameter total padatan terlarut dan daya hantar listrik merupakan parameter dominan yang mengontrol keterkaitan tersebut. Namun analisis klaster menunjukkan bahwa air tanah di sisi kiri dan kanan sungai memiliki sifat fisik-kimiawi yang lebih serupa dibandingkan air permukaan. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan adanya interaksi antara air tanah dan air permukaan di lokasi penelitian.
Kata kunci: *air permukaan; air tanah; interaksi; Sungai Asem*

Abstract

The interaction process between groundwater and surface water can affect the quantity and quality of both. Agricultural, industrial, and domestic activities around the Asem River have the potential to pollute both groundwater and the river. The purpose of this study was to identify the phenomenon of groundwater and surface water interaction along the Asem River in the section between Jurang Dawir Weir and Brugpurwo Weir. Observations were conducted at 5 cross-sections for 21 days. The physical-chemical parameters of the water observed included pH, temperature, total dissolved solids, and electrical conductivity. The measurement data were analyzed statistically using time series analysis, correlation analysis, principal component analysis, and cluster analysis. The similarity in the fluctuation patterns of physical-chemical parameters between groundwater and surface water showed a linkage and potential water exchange. This linkage was further supported by the correlation analysis, which showed positive relationships, indicating that changes in groundwater and surface water quality occurred in the same direction. Total dissolved solids and electrical conductivity were identified

as the dominant parameters controlling this linkage. However, cluster analysis showed that groundwater on the left and right sides of the river had more similar physical-chemical characteristics compared to surface water. Overall, the results showed that an interaction between groundwater and surface water occurred at the study site.
Keywords: *Asem River; groundwater; interaction; surface water*

1. PENDAHULUAN

Air tanah dan air permukaan (sungai) merupakan sumber air tawar yang saling berhubungan dalam siklus hidrologi. Air tanah adalah air yang tersimpan di dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah dan umumnya berasal dari infiltrasi air hujan, sedangkan air permukaan mencakup air yang mengalir atau tergenang di permukaan seperti sungai [1]. Interaksi antara keduanya ini berperan penting dalam mengontrol kuantitas dan kualitas sumber daya air, khususnya pada wilayah yang memanfaatkan keduanya secara bersamaan [2]. Interaksi air tanah dan air permukaan dapat berupa *gaining stream*, ketika muka air tanah lebih tinggi sehingga air tanah mengalir ke sungai sebagai aliran dasar, atau *losing stream*, ketika air sungai meresap ke dalam akuifer karena muka air tanah lebih rendah [3].

Salah satu wilayah yang memanfaatkan air tanah dan air permukaan secara bersamaan adalah Sungai Asem di Kabupaten Lumajang. Sungai ini dimanfaatkan sebagai sumber irigasi, sementara masyarakat di sekitarnya bergantung pada air tanah sebagai sumber air domestik. Berdasarkan survei pendahuluan yang dilakukan pada tanggal 1–2 Maret 2025, ditemukan permasalahan berupa pembuangan limbah pertanian, industri, dan rumah tangga ke badan sungai. Limbah pertanian yang mengandung residu pestisida, pupuk kimia, dan bahan organik dapat terbawa melalui limpasan permukaan dan berpotensi meresap ke dalam akuifer bebas [4]. Keberadaan pabrik di sekitar sungai juga berpotensi meningkatkan risiko pencemaran, dimana limbahnya dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi logam berat air [5]. Limbah rumah tangga yang dibuang tanpa pengolahan juga berpotensi mencemari air tanah [4].

Dampak pencemaran tersebut tercermin pada kondisi beberapa air sumur gali milik warga yang keruh dan berbau tidak sedap. Kondisi ini diduga berkaitan dengan proses pertukaran air antara sungai dan akuifer bebas, sehingga kualitas air sungai berpotensi memengaruhi kualitas air tanah di sekitarnya. Terkait permasalahan tersebut, diperlukan penelitian untuk mengidentifikasi keterkaitan antara air permukaan dan air tanah di sekitar aliran Sungai Asem, mengingat adanya potensi interaksi dan pertukaran air antara keduanya. Penelitian ini dilakukan melalui pengamatan kualitas air sungai dan air tanah pada sumur gali masyarakat berdasarkan parameter fisik-kimiawi untuk mengidentifikasi hubungan timbal balik antara keduanya.

Sejumlah peneliti terdahulu telah mengkaji fenomena interaksi air tanah dan air permukaan dengan menggunakan pendekatan yang berbeda-beda. Identifikasi zona *gaining stream* dan *losing stream* di Wairarapa Valley, Selandia Baru berdasarkan analisis hidrogeokimia yang dikombinasikan dengan *Hierarchical Cluster Analysis (HCA)* dan *Principal Component Analysis (PCA)* dilakukan oleh Guggenmos *et al.* [6].

Kajian tentang interaksi air tanah dan air sungai di DAS Citarum Hulu berdasarkan perbedaan elevasi muka air tanah dan muka air sungai dilakukan oleh Nugraha *et al*. [2]. Pemantauan interaksi air tanah dan air sungai di Sungai Columbia berdasarkan resistivitas listrik berulang yang dianalisis dengan metode deret waktu dilakukan oleh Johnson *et al*. [7]. Penelitian tentang interaksi air tanah dan air permukaan di Sungai Porong, Sidoarjo, berdasarkan pola aliran, sifat fisik, dan karakteristik kimia air dilakukan oleh Haromain *et al*. [8].

Berdasarkan berbagai pendekatan yang telah digunakan dalam penelitian terdahulu, identifikasi interaksi air tanah dan air permukaan dalam penelitian ini dilakukan melalui pendekatan analisis statistik berbasis pengukuran parameter fisik–kimiawi air. Hubungan parameter fisik-kimiawi air tanah dan air permukaan terhadap waktu dianalisis menggunakan metode deret waktu [9]. Kekuatan hubungan antar parameter diuji melalui analisis korelasi [10]. Penentuan parameter yang paling berpengaruh dalam interaksi dilakukan berdasarkan analisis komponen utama [11]. Kesamaan sifat fisik-kimiawi antara air tanah dan air sungai diuji dengan analisis klaster [12]. Pendekatan analisis statistik yang terintegrasi diharapkan mampu memberikan hasil yang saling mendukung dalam identifikasi interaksi air tanah dan air permukaan.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi interaksi air tanah dan air permukaan Sungai Asem pada ruas antara Bendung Jurang Dawir hingga Bendung Brugpurwo berdasarkan pendekatan analisis statistik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi Pemerintah Kabupaten Lumajang dalam upaya pengelolaan sumber daya air khususnya sebagai landasan teknis perencanaan dan pengelolaan infrastruktur sumber daya air dan bahan evaluasi kualitas lingkungan untuk pengendalian pencemaran air.

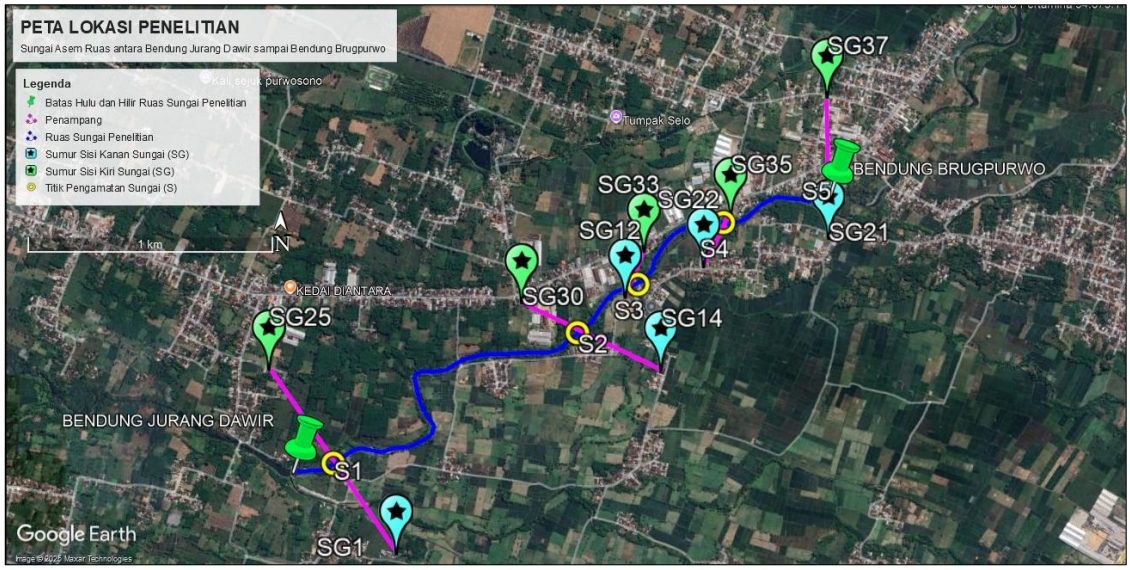
2. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Sungai Asem yang terletak di wilayah Kabupaten Lumajang, Provinsi Jawa Timur. Ruas sungai yang menjadi fokus penelitian membentang dari Bendung Jurang Dawir hingga Bendung Brugpurwo dengan panjang kurang lebih 2,88 km. Bendung Jurang Dawir terletak di wilayah Selokambang, Desa Sentul, Kecamatan Sumbersuko dan secara geografis berada pada koordinat 8°9'12.37" LS dan 113°9'57.30" BT. Sementara itu, Bendung Brugpurwo terletak di wilayah Srebet, Desa Purwosono, Kecamatan Sumbersuko, pada koordinat 8°8'34.64" LS dan 113°11'9.50" BT. Lokasi penelitian ditunjukkan dalam Gambar 1.

Pengamatan dilakukan pada 5 penampang *(cross section)* yang mewakili kondisi keseluruhan ruas sungai dari hulu ke hilir. Kelima penampang tersebut tersebar sepanjang aliran sungai dengan jarak antar penampang yang bervariasi serta berada pada wilayah dengan kondisi tata guna lahan yang berbeda. Tiap penampang dilakukan pengamatan di tiga lokasi, yaitu air tanah di sebelah kiri aliran sungai (sumur gali), air permukaan di badan sungai, dan air tanah di sebelah kanan aliran sungai (sumur gali). Terdapat 15

lokasi pengamatan yang terdiri atas 5 sumur gali di sisi kiri aliran sungai, 5 lokasi badan sungai, dan 5 sumur gali di sisi kanan aliran sungai. Sumur gali ditandai dengan kode (SG) dan lokasi badan sungai ditandai dengan kode (S).



Gambar 1. Lokasi Penelitian
Sumber: Google Earth, 2025

2.2 Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer yaitu parameter fisik–kimiawi air yang meliputi pH, suhu, total padatan terlarut (*TDS*), dan daya hantar listrik (DHL). Parameter pH dipilih karena merepresentasikan tingkat keasaman atau kebasaan air sebagai indikator dasar kualitas air [13]. Parameter suhu dipilih karena berpengaruh terhadap proses pelarutan zat terlarut serta konduktivitas listrik air, sehingga dapat memengaruhi nilai *TDS* dan DHL [14]. Parameter *TDS* dipilih untuk menggambarkan jumlah total zat terlarut. Parameter DHL dipilih karena merepresentasikan kemampuan air menghantarkan listrik.

Pengukuran keempat parameter tersebut dilakukan berdasarkan SNI 8995:2021 tentang Metode Pengambilan Contoh Uji Air untuk Pengujian Fisika dan Kimia [15]. Pengukuran dilakukan selama 21 hari, yaitu mulai tanggal 13 September 2025 sampai dengan 3 Oktober 2025. Contoh air diambil menggunakan ember bertali yang terbuat dari plastik non-daun ulang. Pengambilan contoh air pada sumur gali dilakukan pada kedalaman ±20 cm di bawah permukaan air, sedangkan contoh air sungai diambil pada kedalaman ±20–30 cm di bawah permukaan air. Pengukuran pH, suhu, *TDS*, dan DHL dilakukan secara *in-situ* dengan menggunakan pen meter multiparameter EZ990 dengan akurasi pH ±0,05, suhu ±0,5 °C, serta *TDS* dan DHL ±2%, dan dilengkapi fitur kompensasi suhu otomatis. Nilai hasil pengukuran parameter tersebut dicatat pada formulir data lapangan. Pengukuran dilakukan secara berurutan dari hulu ke hilir, dengan urutan lokasi pengambilan contoh air meliputi SG1, S1, SG25, SG30, S2, SG14, SG12, S3, SG33, SG35, S4, SG22, SG21, S5, dan SG37.

2.3 Metode Analisis Data

Data hasil pengukuran parameter fisik–kimiawi air tanah dan air permukaan dianalisis menggunakan pendekatan statistik untuk mengidentifikasi interaksi antara air tanah dan air permukaan. Analisis deret waktu digunakan untuk mengamati pola fluktuasi temporal parameter fisik–kimiawi terhadap waktu [9]. Data hasil pengukuran harian disusun dalam bentuk grafik untuk membandingkan pola fluktuasi parameter fisik–kimiawi antar lokasi pengamatan pada setiap penampang, yaitu air tanah di sisi kiri sungai, air permukaan, dan air tanah di sisi kanan sungai, berdasarkan kesamaan kecenderungan naik turunnya nilai parameter sebagai indikasi awal terjadinya interaksi antara air tanah dan air permukaan.

Analisis korelasi dilakukan dengan menggunakan metode *Pearson* untuk setiap pasangan lokasi pengamatan dalam satu penampang, yaitu antara air tanah di sisi kiri sungai dengan air permukaan serta antara air permukaan dengan air tanah di sisi kanan sungai. Nilai koefisien korelasi (r) dihitung berdasarkan persamaan:

$$r = \frac{N.\sum XY - (\sum X)\,(\sum Y)}{\sqrt{\{N.\sum X^2 - (\sum X)^2\}\,\{N.\sum Y^2 - (\sum Y)^2\}}}$$

dimana:

r = Koefisien korelasi
X = Nilai variabel X
Y = Nilai variabel Y
N = Jumlah data

Nilai r berada dalam rentang nilai dari −1 hingga +1, yang selanjutnya diklasifikasikan dari hubungan sangat lemah hingga sangat kuat. Nilai positif menunjukkan hubungan searah, sedangkan nilai r negatif menunjukkan hubungan berlawanan arah [10].

Analisis komponen utama *(Principal Component Analysis/PCA)* digunakan untuk mengidentifikasi parameter yang paling berpengaruh dalam mengontrol variasi kualitas air serta interaksi air tanah dan air permukaan. *PCA* diterapkan terhadap seluruh data parameter pH, suhu, *TDS*, dan DHL yang telah distandardisasi untuk menyamakan skala antar variabel. Selanjutnya, disusun matriks kovarian untuk memperoleh nilai *Eigen* dan vektor *Eigen*, sehingga komponen utama dipilih berdasarkan nilai *Eigen* terbesar yang merepresentasikan proporsi variansi tertinggi. Komponen utama dibentuk sebagai kombinasi linear dari variabel asli berdasarkan persamaan:

$$PC_p = \sum_{j=1}^{p} a_{jp}\,X_j = a_{1p}X_1 + a_{2p}X_2 + \cdots + a_{pp}X_p$$

dimana:

PC_p = komponen utama ke-p (*principal component* ke-p)
X_j = variabel asli ke-j (data yang telah distandarisasi)
p = jumlah variabel yang dianalisis
j = indeks variabel ($j = 1, 2, \ldots, p$)
a_{jp} = nilai *loading* variabel ke-j pada komponen utama ke-p

Nilai koefisien a_{jp} pada persamaan tersebut merupakan nilai *loading* yang menunjukkan tingkat kontribusi masing-masing parameter terhadap pembentukan komponen utama [16]. Parameter dengan nilai *loading* terbesar pada komponen utama yang menjelaskan variansi tertinggi diinterpretasikan sebagai parameter yang paling berpengaruh dalam mengontrol variasi kualitas air dan interaksi antara air tanah dan air permukaan.

Analisis klaster digunakan untuk mengelompokkan titik pengamatan berdasarkan kemiripan sifat fisik–kimiawi air menggunakan metode *K-Means*, yaitu metode klaster non-hierarki yang mengelompokkan data numerik ke dalam sejumlah klaster berdasarkan jarak objek terhadap pusat klaster (*centroid*). Penentuan jumlah klaster optimal dilakukan berdasarkan metode *Silhouette Coefficient*. Nilai *Silhouette Coefficient* tertinggi menunjukkan jumlah klaster paling optimal yang diperoleh berdasarkan persamaan:

$$SC = \frac{\sum_{K=1}^{K}(n_k \; x \; SC_2(k))}{\sum_{K=1}^{K} n_k}$$

dimana:

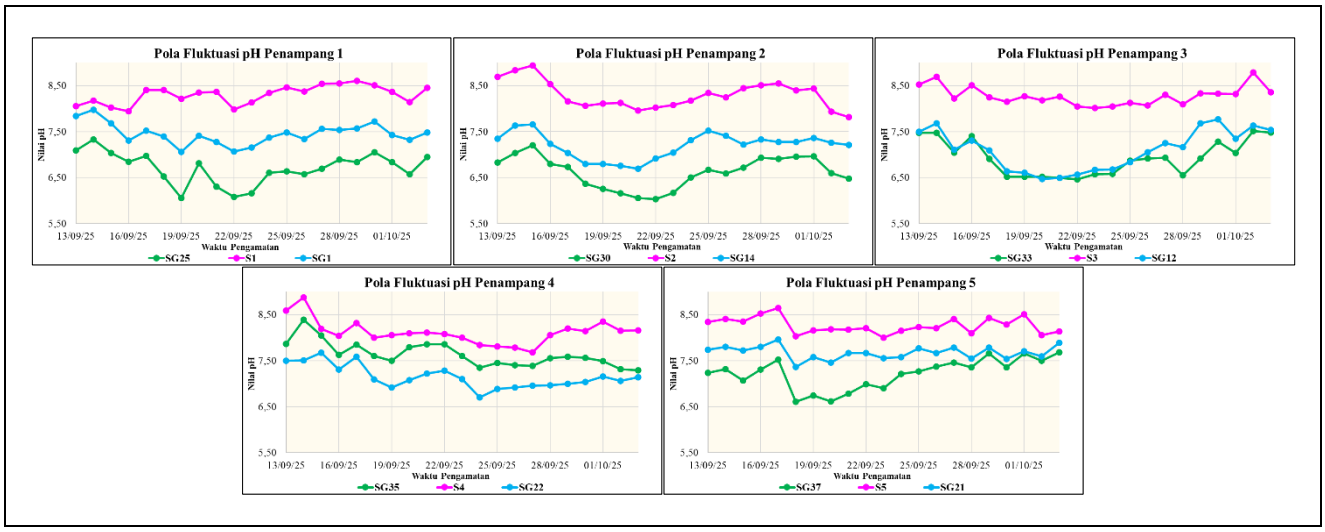
SC = nilai *Silhouette Coefficient*
K = jumlah klaster
k = indeks klaster ($k = 1, 2, \dots, K$)
n_k = jumlah objek atau anggota pada klaster ke-k
$SC_2(k)$ = nilai *Silhouette Coefficient* rata-rata pada klaster ke-k

Setelah jumlah klaster ditentukan, pengelompokan *K-Means* dilakukan dengan cara memilih *centroid* awal secara acak, kemudian dihitung jarak setiap objek terhadap *centroid* menggunakan *Euclidean distance*. Setiap objek selanjutnya dialokasikan ke dalam klaster dengan jarak terdekat. Posisi *centroid* diperbarui secara iteratif berdasarkan rata-rata nilai seluruh anggota klaster hingga tidak terjadi perubahan signifikan dalam keanggotaan klaster [17]. Hasil pengelompokan digunakan untuk menilai kesamaan sifat fisik-kimiawi air tanah dan air permukaan, dimana objek yang tergabung dalam klaster yang sama diinterpretasikan saling berinteraksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

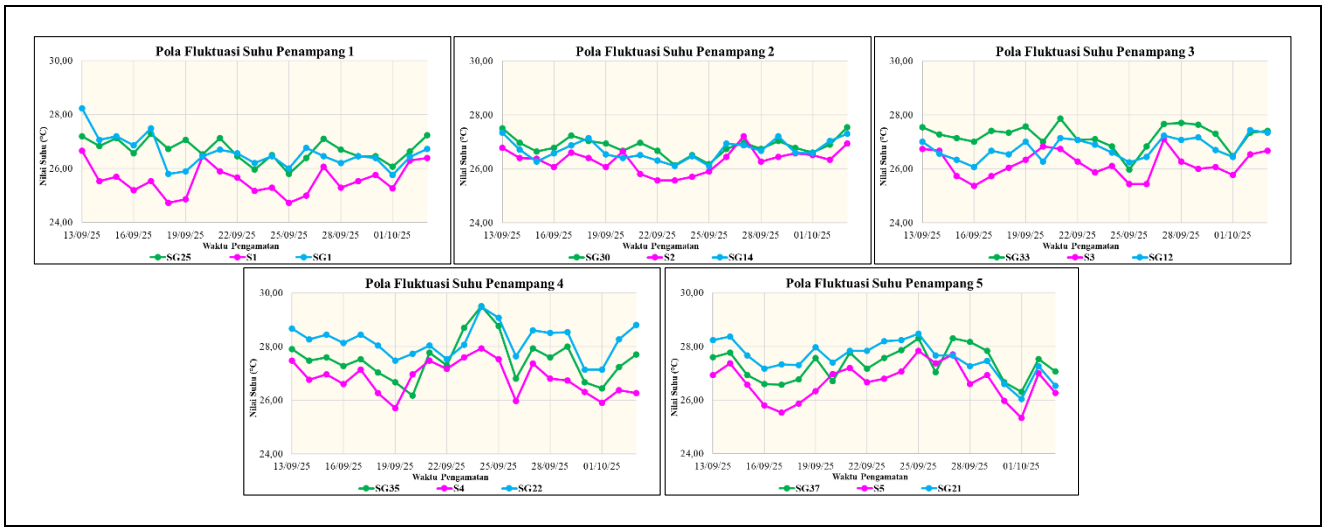
3.1 Analisis Deret Waktu

Analisis deret waktu digunakan untuk mengamati pola fluktuasi temporal parameter fisik–kimiawi air tanah dan air permukaan pada seluruh penampang *(cross section)* sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1. Analisis ini dilakukan untuk identifikasi kesamaan maupun perbedaan pola perubahan kualitas air antara kedua sistem aliran dari waktu ke waktu. Data hasil pengukuran tiap parameter fisik-kimiawi divisualisasikan dalam bentuk grafik deret waktu. Pola perubahan antara air tanah dan air permukaan dari waktu ke waktu yang diamati melalui grafik dapat menjadi indikasi terjadinya interaksi antara keduanya. Grafik deret waktu tersebut disajikan untuk tiap parameter fisik–kimiawi air yang dianalisis, yaitu parameter pH (Gambar 2), parameter suhu (Gambar 3), parameter *TDS* (Gambar 4), dan parameter DHL (Gambar 5).



Gambar 2. Grafik deret waktu parameter pH pada setiap penampang
Sumber: Penulis, 2025

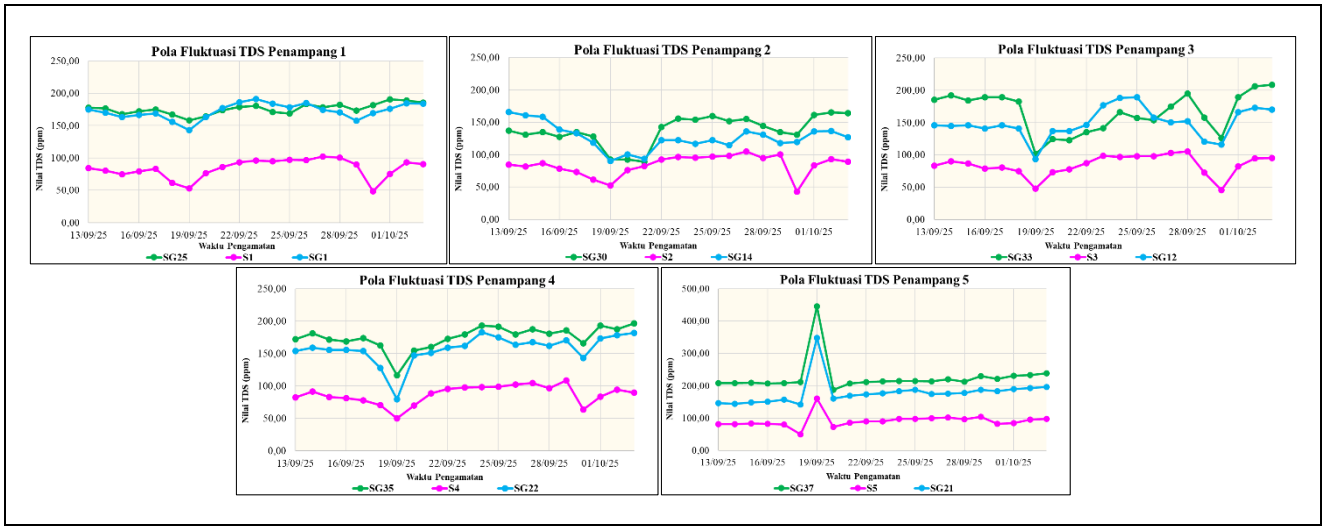
Berdasarkan grafik deret waktu parameter pH yang ditunjukkan dalam Gambar 2, dapat dinyatakan bahwa nilai pH air sungai secara umum lebih tinggi dibandingkan air tanah. Perbedaan ini berkaitan dengan kondisi air sungai yang lebih terbuka terhadap pengaruh limpasan dan aktivitas biologis, sementara air tanah berada dalam sistem tertutup yang dikontrol oleh proses penyanggaan mineral [18]. Berdasarkan hasil pengukuran juga teridentifikasi bahwa sumur yang berjarak lebih dekat terhadap badan sungai cenderung memiliki nilai pH yang lebih tinggi. Semakin dekat jarak sumur terhadap sungai, semakin besar intensitas pertukaran antara air tanah dan air permukaan, sehingga sifat kimia air tanah cenderung mengikuti karakter air sungai yang relatif lebih basa akibat pengaruh proses pencampuran [19].



Gambar 3. Grafik deret waktu parameter suhu pada setiap penampang
Sumber: Penulis, 2025

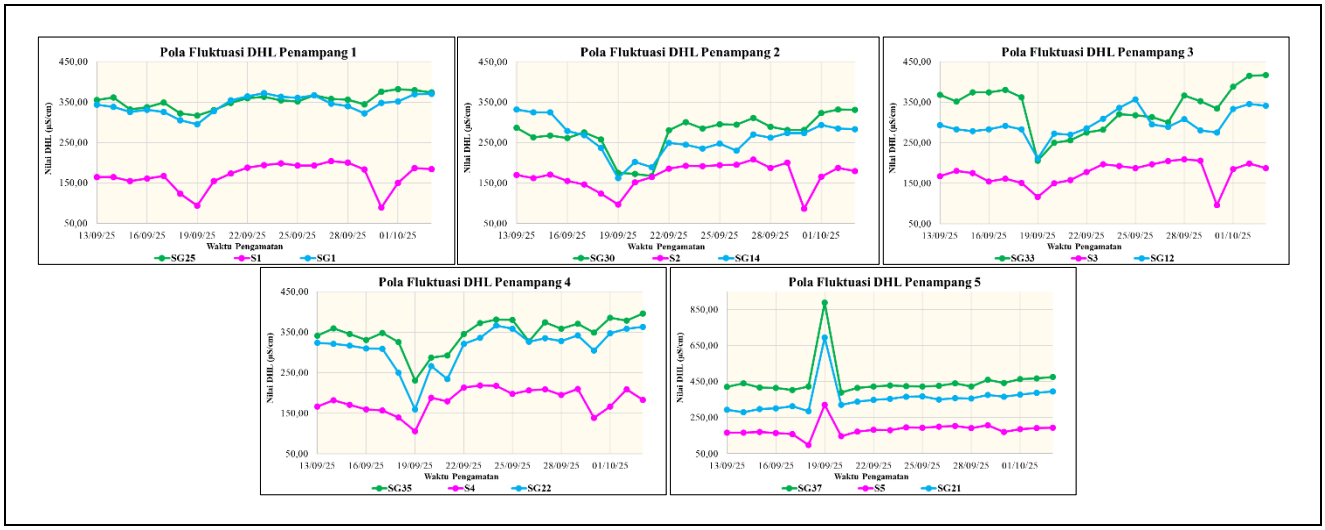
P-ISSN :1698-8259
E-ISSN : 2721-978X

Berdasarkan grafik deret waktu parameter suhu yang ditunjukkan dalam Gambar 3, dapat dinyatakan bahwa nilai suhu air sungai cenderung lebih rendah dibandingkan air tanah, terutama pada penampang yang di sekitarnya memiliki tutupan vegetasi yang baik dan alirannya relatif deras. Kondisi ini berkaitan dengan sifat air sungai yang lebih terbuka dan cepat mengalami pertukaran panas dengan lingkungan [20]. Pada penampang 1, suhu air sungai relatif lebih rendah dibandingkan penampang yang lain akibat pengaruh vegetasi. Pada penampang 2 hingga penampang 5, suhu air sungai cenderung lebih tinggi, yang dipengaruhi oleh aktivitas permukiman dan berkurangnya vegetasi di sepanjang bantaran sungai. Aktivitas domestik dan peningkatan paparan radiasi matahari mempercepat pemanasan air permukaan, sehingga menyebabkan fluktuasi suhu yang lebih besar dibandingkan air tanah [21].



Gambar 4. Grafik deret waktu parameter *TDS* pada setiap penampang
Sumber: Penulis, 2025

Berdasarkan grafik deret waktu parameter *TDS* yang ditunjukkan dalam Gambar 4, dapat dinyatakan bahwa nilai *TDS* air tanah secara konsisten lebih tinggi dibandingkan air sungai. Kondisi ini dikarenakan waktu tinggal air tanah yang lebih lama, sehingga proses pelarutan mineral dan akumulasi ion berlangsung lebih intensif selama pergerakan air melalui lapisan batuan dan sedimen [22]. Selain faktor alami, tingginya nilai *TDS* pada air tanah juga disebabkan adanya pengaruh antropogenik dari aktivitas manusia di sekitar lokasi penelitian. Penurunan nilai *TDS* pada beberapa hari tertentu, berkaitan dengan curah hujan lebat dan menyebabkan efek pengenceran konsentrasi zat terlarut [23].



Gambar 5. Grafik deret waktu parameter DHL pada setiap penampang
Sumber: Penulis, 2025

Berdasarkan grafik deret waktu parameter DHL yang ditunjukkan dalam Gambar 5, dapat dinyatakan bahwa pola fluktuasi DHL cenderung identik dengan nilai *TDS*nya. Hal ini menegaskan bahwa peningkatan konsentrasi zat terlarut berkontribusi langsung terhadap meningkatnya daya hantar listrik air [14]. Nilai DHL air tanah juga lebih tinggi dibandingkan air sungai karena waktu tinggal air tanah yang lebih lama, sehingga proses pelarutan mineral dan akumulasi ion berlangsung lebih intensif [22]. Secara temporal, nilai DHL relatif stabil dengan kecenderungan penurunan signifikan yang berkaitan dengan curah hujan lebat sehingga peningkatan volume air dapat menurunkan daya hantar listrik melalui proses dilusi [23].

Berdasarkan analisis deret waktu masing-masing parameter fisik-kimiawi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 5, selanjutnya dilakukan perbandingan nilai pada setiap lokasi pengamatan untuk menilai kesamaan pola fluktuasi parameter fisik–kimiawi antara air tanah dan air permukaan. Lokasi pengamatan tersebut meliputi sumur gali di sisi kiri aliran sungai, air permukaan pada badan sungai, dan sumur gali di sisi kanan aliran sungai. Hasil perbandingan pada tiap lokasi pengamatan disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan nilai parameter fisik-kimiawi antar penampang

Penampang	pH	Suhu	*TDS*	DHL
Penampang 1	SG25 < S1, S1 > SG1	SG25 > S1, S1 < SG1	SG25 > S1, S1 < SG1	SG25 > S1, S1 < SG1
Penampang 2	SG30 < S2, S2 > SG14	SG30 > S2, S2 < SG14	SG30 > S2, S2 < SG14	SG30 > S2, S2 < SG14
Penampang 3	SG33 < S3, S3 > SG12	SG33 > S3, S3 < SG12	SG33 > S3, S3 < SG12	SG33 > S3, S3 < SG12
Penampang 4	SG35 < S4, S4 > SG22	SG35 > S4, S4 < SG22	SG35 > S4, S4 < SG22	SG35 > S4, S4 < SG22
Penampang 5	SG37 < S5, S5 > SG21	SG37 > S5, S5 < SG21	SG37 > S5, S5 < SG21	SG37 > S5, S5 < SG21

Sumber: Penulis, 2025

Tabel 1 menunjukkan kesamaan pola fluktuasi parameter fisik–kimiawi antara air tanah dan air permukaan yang mencerminkan perubahan kualitas air yang sejalan akibat respons terhadap pengaruh lingkungan yang sama, sehingga perubahan pada salah satu sistem berpotensi diikuti oleh perubahan pada sistem lainnya dan menunjukkan adanya keterkaitan atau interaksi antara air tanah dan air permukaan [24].

3.2 Analisis Korelasi

Analisis korelasi digunakan untuk menilai kekuatan dan arah hubungan antar parameter fisik–kimiawi di setiap penampang. Nilai koefisien korelasi (r) merepresentasikan kuat atau lemahnya hubungan seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Nilai koefisien korelasi (r) di setiap lokasi pengukuran

Penampang	Contoh Air	Koefisien korelasi (r) tiap parameter			
		pH	Suhu	*TDS*	DHL
1	SG25 – S1	0,163 (Sangat Lemah)	0,482 (Sedang)	0,385 (Lemah)	0,359 (Lemah)
	S1 – SG1	0,195 (Sangat Lemah)	0,552 (Sedang)	0,675 (Kuat)	0,623 (Kuat)
2	SG30 – S2	0,819 (Sangat Kuat)	0,638 (Kuat)	0,573 (Sedang)	0,495 (Sedang)
	S2 – SG14	0,706 (Kuat)	0,664 (Kuat)	0,245 (Lemah)	0,243 (Lemah)
3	SG33 – S3	0,812 (Sangat Kuat)	0,601 (Kuat)	0,554 (Kuat)	0,324 (Lemah)
	S3 – SG12	0,705 (Kuat)	0,620 (Kuat)	0,815 (Sangat Kuat)	0,615 (Kuat)
4	SG35 – S4	0,705 (Kuat)	0,771 (Kuat)	0,788 (Kuat)	0,593 (Sedang)
	S4 – SG22	0,692 (Kuat)	0,625 (Kuat)	0,804 (Sangat Kuat)	0,708 (Kuat)
5	SG37 – S5	0,494 (Sedang)	0,788 (Kuat)	0,837 (Sangat Kuat)	0,836 (Sangat Kuat)
	S5 – SG21	0,709 (Kuat)	0,707 (Kuat)	0,900 (Sangat Kuat)	0,905 (Sangat Kuat)

Sumber: Penulis, 2025

Berdasarkan hasil analisis korelasi pada Tabel 2, seluruh koefisien korelasi bernilai positif yang menunjukkan hubungan positip antar parameter fisik–kimiawi air tanah dan air permukaan [10]. Hubungan positip tersebut menunjukkan bahwa perubahan kualitas air tanah cenderung diikuti oleh perubahan kualitas air permukaan maupun sebaliknya. Hubungan positip tersebut menunjukkan bahwa perubahan kualitas air tanah cenderung diikuti oleh perubahan kualitas air permukaan maupun sebaliknya, sebagaimana juga ditunjukkan pada penelitian terdahulu yang mengidentifikasi interaksi berdasarkan nilai korelasi positif [8]. Hasil analisis korelasi memperkuat adanya keterkaitan antara air tanah dan air permukaan di lokasi penelitian.

3.3 Analisis Komponen Utama

Analisis komponen utama digunakan untuk mereduksi dimensi data sekaligus mengidentifikasi parameter fisik–kimiawi yang paling berpengaruh. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Orange Data Mining*. Berdasarkan hasil *PCA*, terbentuk empat komponen utama (PC1, PC2, PC3, dan PC4). Komponen utama pertama (PC1) memiliki nilai *Eigen* sebesar 2,7052 dan menjelaskan 67,63% variasi total data, diikuti oleh PC2 sebesar 17,70%. Secara kumulatif, dua komponen utama pertama telah menjelaskan 85,33% variasi data, sedangkan keempat komponen secara keseluruhan menjelaskan 100% variasi data. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar informasi data telah terwakili oleh PC1 dan PC2.

Interpretasi lanjutan dilakukan berdasarkan besarnya nilai *loading* untuk mengidentifikasi parameter yang dominan pada setiap komponen utama, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3. Nilai *loading* dengan ambang batas ≥ 0,5 adalah signifikan dalam menjelaskan kontribusi suatu parameter terhadap komponen utama [25]. Hasil analisis menunjukkan bahwa komponen utama pertama (PC1) didominasi oleh parameter *TDS* (0,5763) dan DHL (0,5756).

Tabel 3. Nilai *loading* masing-masing parameter di setiap komponen

Komponen Utama	pH	Suhu	*TDS*	DHL
PC1	-0,4265	0,3933	0,5763	0,5756
PC2	0,5164	0,8451	-0,1036	-0,0911
PC3	0,7425	-0,3619	0,3942	0,4028
PC4	0,0093	0,0051	0,7083	0,7058

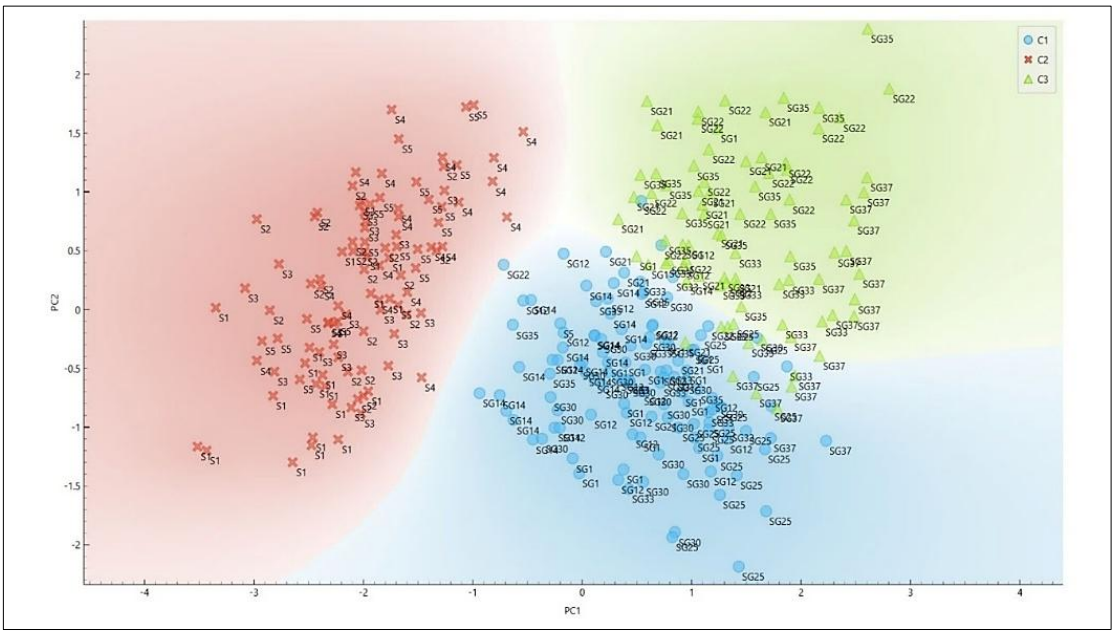
Sumber: Penulis, 2025

Tabel 3 menunjukkan bahwa parameter *TDS* dan DHL merupakan parameter yang paling berpengaruh dalam interaksi antara air tanah dan air permukaan, berdasarkan nilai *loading* terbesar pada komponen utama. Hasil ini sejalan dengan penelitian terdahulu dimana *TDS* dan DHL merupakan parameter utama dalam terjadinya interaksi air tanah dan air permukaan [24]. Dominasi *TDS* dan DHL berkaitan dengan perannya sebagai indikator akumulasi zat dan ion terlarut yang sensitif terhadap pencemaran dan proses pelarutan mineral, sehingga efektif merepresentasikan perubahan kualitas air akibat interaksi dan aktivitas antropogenik [14].

3.4 Analisis Klaster

Analisis klaster digunakan untuk mengelompokkan titik pengamatan berdasarkan kemiripan parameter fisik–kimiawi air menggunakan metode *K-Means* dengan bantuan perangkat lunak *Orange Data Mining*. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi kesamaan karakteristik kualitas air sebagai dasar pendukung dalam interpretasi interaksi antara air tanah dan air permukaan. Penentuan jumlah klaster optimal dilakukan menggunakan metode *Silhouette Score* yang mengevaluasi tingkat keseragaman dalam klaster dan keterpisahan antar klaster [26]. Nilai *Silhouette* tertinggi

sebesar 0,377 diperoleh pada jumlah tiga klaster (K = 3). Hasil pengelompokan disajikan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Hasil pengelompokan berdasarkan analisis klaster
Sumber: Penulis, 2025

Berdasarkan Gambar 6, dapat ditunjukkan bahwa klaster 2 didominasi oleh air permukaan (sungai), sedangkan klaster 1 dan klaster 3 didominasi oleh air tanah. Identifikasi dominasi klaster pada setiap penampang ditunjukkan dalam Tabel 4 dimana air tanah di sisi kiri dan kanan aliran sungai cenderung berada pada klaster yang sama, sementara air permukaan (sungai) secara umum berada pada klaster yang berbeda.

Tabel 4. Identifikasi dominasi cluster setiap lokasi pengamatan

Lokasi Pengamatan	Air tanah di sisi kiri aliran sungai	Air permukaan di badan Sungai	Air tanah di sisi kanan aliran sungai
Penampang 1	klaster 1	klaster 2	klaster 1
Penampang 2	klaster 1	klaster 2	klaster 1
Penampang 3	klaster 1	klaster 2	klaster 1
Penampang 4	klaster 3	klaster 2	klaster 3
Penampang 5	klaster 3	klaster 2	klaster 3

Sumber: Penulis, 2025

Berdasarkan pengelompokan yang ditunjukkan dalam Gambar 6 dan Tabel 4 dapat dinyatakan bahwa air tanah di kedua sisi aliran sungai memiliki sifat fisik–kimiawi yang lebih mirip satu sama lain dibandingkan dengan air permukaan (sungai). Hasil ini menunjukkan adanya interaksi antara air tanah di sisi kiri dan sisi kanan sungai, sementara interaksi langsung antara air tanah dan air permukaan relatif terbatas. Hal ini dapat dikaitkan dengan konsep *disconnected stream*, dimana muka air tanah berada di bawah dasar sungai sehingga terbentuk zona tak jenuh yang membatasi pertukaran air secara langsung antara air tanah dan air permukaan [27]. Dalam kondisi ini, air tanah

tetap dapat saling berinteraksi secara lateral melalui akuifer, sedangkan interaksi dengan air sungai menjadi lebih terbatas.

Perbedaan hasil antara analisis klaster dengan analisis deret waktu, korelasi, dan *PCA* juga dapat dijelaskan dari perbedaan pendekatan metode. Dalam analisis klaster *K-Means*, pengelompokan data dilakukan berdasarkan kemiripan nilai parameter fisik-kimiawi menggunakan jarak *Euclidean* [23]. Air tanah di sisi kiri dan sisi kanan aliran sungai memiliki nilai parameter yang relatif serupa sehingga tergabung dalam satu klaster, sedangkan air permukaan (sungai) yang bersifat lebih dinamis akibat pengaruh atmosferik, limpasan, dan aktivitas permukaan membentuk klaster tersendiri.

Secara keseluruhan, hasil analisis statistik menunjukkan adanya interaksi antara air tanah dan air permukaan di Sungai Asem. Interaksi antar parameter fisik–kimiawi saling mendukung, dimana perubahan suhu memengaruhi proses pelarutan zat terlarut yang tercermin pada nilai *TDS*, dan peningkatan konsentrasi ion terlarut tersebut secara langsung berpengaruh terhadap nilai DHL. Parameter pH menunjukkan respon terhadap proses pencampuran dan pengaruh lingkungan, sementara dominasi *TDS* dan DHL mencerminkan peran akumulasi zat terlarut serta pengaruh antropogenik dalam mengontrol keterkaitan kualitas air.

4. KESIMPULAN

Terdapat kesamaan pola fluktuasi antara air tanah dan air permukaan berdasarkan analisis deret waktu. Tingkat hubungan hingga sangat kuat berdasarkan analisis korelasi, terutama untuk parameter *TDS* dan DHL. Parameter *TDS* dan DHL berperan dominan dalam keterkaitan antara air tanah dan air permukaan berdasarkan analisis komponen utama. Air tanah saling berinteraksi tanpa melalui air permukaan (sungai) sesuai hasil analisis klaster. Secara umum, dapat ditarik simpulan bahwa terjadi interaksi antara air tanah dan air permukaan di Sungai Asem sepanjang ruas antara Bendung Jurang Dawir sampai dengan Bendung Brugpurwo. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan secara teknis sebagai dasar perencanaan sistem pemantauan kualitas air secara berkala pada air permukaan dan sumur gali masyarakat di sekitar Sungai Asem dan potensi pengaruh timbal balik. Selain itu, hasil penelitian ini dapat digunakan untuk penentuan segmen sungai dan wilayah air tanah yang menjadi prioritas pengendalian pencemaran air di Kabupaten Lumajang.

5. REFERENSI

[1] Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.

[2] Nugraha, D. M., Aulia, M. R., Sururi, M. R., & Rusydi, A. F. (2023). Identifikasi Interaksi Air Tanah dan Air Sungai di Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum. *Jurnal Prosiding FTSP Bandung*, 2160–2165. https://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/ftsp/article/view/2799

[3] Martha, R. (2021). Hubungan Airtanah dengan Air Permukaan di Daerah Kota Padang dan Sekitarnya Provinsi Sumatera Barat. *Journal of Geoscience Engineering & Energy*, *2*, 72–79. https://doi.org/10.25105/jogee.v2i1.8935

[4] Utami, A. P., Pane, N. N. A., & Hasibuan, A. (2024). Analisis Dampak Limbah Sampah Rumah Tangga terhubung Pencemaran Lingkungan Hidup. *Profit: Jurnal Manajemen, Bisnis dan Akuntansi*, 3(3), 90–102. https://doi.org/10.58192/profit.v3i3.2245

[5] Safamaura, R. S. & Afany, M. R. (2025). Pengaruh Limbah Cair Industri Batik terhadap Kualitas Air Sungai Loji di Pekalongan. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan, 12*(1), 153–158. https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2025.012.1.15

[6] Guggenmos, M. R., Daughney, C. J., Jackson, B. M., & Morgenstern, U. (2011). Regional-scale identification of groundwater-surface water interaction using hydrochemistry and multivariate statistical methods, Wairarapa Valley, New Zealand. *Hydrology and Earth System Sciences*, *15*(11), 3383–3398. https://doi.org/10.5194/hess-15-3383-2011

[7] Johnson, T. C., Slater, L. D., Ntarlagiannis, D., Day-Lewis, F. D., & Elwaseif, M. (2012). Monitoring groundwater-surface water interaction using time-series and time-frequency analysis of transient three-dimensional electrical resistivity changes. *Water Resources Research, 48*(7), 1–13. https://doi.org/10.1029/2012WR011893

[8] Haromain, S. A., Yuliani, E., Andawayanti, U., Imai, T., & Aliyah, F. S. (2024). Interaction between Ground Water and Surface Water in Porong River, Sidoarjo. *Jurnal Teknik Pengairan*, *15*(1), 22–36. https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2024.015.01.3

[9] Rizky, M. (2021). Penerapan Metode Time Series terhadap Analisis Kebutuhan Air Bersih Kota Sukabumi. *Jurnal Student Teknik Sipil*, *3*(1), 293–301. https://doi.org/10.37150/jsts.v3i1.1463

[10] Budiwanto, S. (2017). *Metode Statistika: Untuk Mengolah Data Keolahragaan.* Malang: UM Press.

[11] Gaol, A. S. L., Diansyah, G., & Purwiyanto, A. I. S. (2017). Analisis Kualitas Air Laut di Perairan Selat Bangka Bagian Selatan. *Maspari Journal, 9*(1), 9–16. https://www.neliti.com/id/publications/151973/analisis-kualitas-air-laut-di-perairan-selat-bangka-bagian-selatan

[12] Handayani, Y., Syafrudin, S., & Suherman, S. (2021). Analisis Klaster K-Means terhadap Kualitas Air Sungai di Kota Surakarta, Jawa Tengah. *Seminar Nasional Official Statistics*, *2021*(1), 139–145. https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2021i1.800

[13] Sugiharto, W. H., Susanto, H., & Prasetijo, A. B. (2023). Real-Time Water Quality Assessment via IoT: Monitoring pH, TDS, Temperature, and Turbidity. *Ingenierie Des Systemes d'Information*, *28*(4), 823–831. https://doi.org/10.18280/isi.280403

[14] Sugiharto, W. H., Susanto, H., & Prasetijo, A. B. (2023). Real-Time Water Quality Assessment via IoT: Monitoring pH, TDS, Temperature, and Turbidity. *Ingenierie Des Systemes d'Information*, *28*(4), 823–831. https://doi.org/10.18280/isi.280403

[15] Badan Standardisasi Nasional. (2021). SNI 8995:2021 tentang Metode Pengambilan Contoh Uji Air untuk Pengujian Fisika dan Kimia. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

[16] Pranata, E., & Gunawan, T. P. (2018). Penggunaan Nilai dan Vektor Eigen untuk Menentukan Prioritas Faktor-Faktor Penentu Pemilihan Tempat Makan (Restoran).

Jurnal Teknika, *7*(2), 148–151. https://doi.org/10.34148/teknika.v7i2.119

[17] Nugroho, N., & Adhinata, F. D. (2022). Penggunaan Metode K-Means dan K-Means++ sebagai Clustering Data Covid-19 di Pulau Jawa. *Jurnal Teknika*, *11*(3), 170–179. https://doi.org/10.34148/teknika.v11i3.502

[18] Saalidong, B. M., Aram, S. A., Otu, S., & Lartey, P. O. (2022). Examining the dynamics of the relationship between water pH and other water quality parameters in ground and surface water systems. *PLoS ONE*, *17*(1), 1–17. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262117

[19] Ariani, F., Puspitasari, R. L., & Priambodo, T. W. (2018). Pencemaran Coliform pada Air Sumur di Sekitar Sungai Ciliwung. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*, *4*(3), 149–155. https://doi.org/10.36722/sst.v4i3.285

[20] Marbun, H. (2024). Literatur Review: Studi tentang Distribusi Suhu dan Dampaknya terhadap Ekosistem Hutan Tropis. *JSSIT: Jurnal Sains dan Sains Terapan*, *2*(2), 7–11. https://doi.org/10.30631/jssit.v2i2.57

[21] Kurniawan, A., & Mustikasari, D. (2021). Review tentang Kemampuan Ikan Ekstremofil untuk Hidup di Perairan Asam dan Terkontaminasi Logam Berat Pascapenambangan Timah. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *19*(3), 541–554. https://doi.org/10.14710/jil.19.3.541-554

[22] Mansouri, Z., Dinar, H., Belkendil, A., Bakelli, O., Drias, T., Assadi, A. A., Khezami, L., & Mouni, L. (2025). Integrated Groundwater Quality Assessment for Irrigation in the Ras El-Aioun District: Combining IWQI, GIS, and Machine Learning Approaches. *Water*, 17(11), 1698. https://doi.org/10.3390/w17111698

[23] Wijayanti, Y., Fittkow, M., Kusumadewi, R. A., & Setyandito, O. (2021). Temporal Variation of Groundwater Quality in Sleman, Yogyakarta, Indonesia. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, *5*(1), 28–39. https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v5i1.10746

[24] Fatikasari, C., Siswoyo, H., & Erwin, D. (2025). *JEEE : Journal of Educational Engineering and Environment Interaction Pattern of Groundwater and Surface Water of Beji River in Malang Regency*. *3*(February), 65–76. https://doi.org/10.36526/jeee.v3i2.5034

[25] Vickylia Roos, A., Mujiarti, E. M., & Fran, F. (2023). Application of the *PCA* Method to Identify Factors Affecting Poverty Rates in West Kalimantan. *Jurnal Forum Analisis Statistik (FORMASI)*, *3*(1), 11–22. https://doi.org/10.57059/formasi.v3i1.47

[26] Paembonan, S. & Abduh, H. (2021). Penerapan Metode Silhouette Coefficient untuk Evaluasi Clustering Obat. *PENA TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, *6*(2), 48–54. https://doi.org/10.51557/pt_jiit.v6i2.659

[27] Winter TC, Harvey JW, Franke OL and Alley WM (1998) Ground Water and Surface Water A Single Resource, Circular 1139. Denver, Colorado, USGS.