

Pola Spasial pH dan COD sebagai Indikator Degradasi Kualitas Air Sungai Jembatan Dua

Lodwyk N. Krimadi¹, Diana M. Abulais², Nurhairi³, Alowisya Futwembun⁴, Nason Siringon⁵

^{1,2,3,4}Departemen Kimia, FMIPA, Universitas Cenderawasih, Jayapura-Papua

Email: lodwyk.krimadi@gmail.com

ABSTRAK

Sungai Jembatan Dua di Jayapura, Papua, merupakan komponen penting dalam sistem hidrologi lokal yang berpotensi mengalami perubahan kualitas air akibat interaksi proses alami dan aktivitas antropogenik. Penelitian ini bertujuan menganalisis tren spasial kualitas air Sungai Jembatan Dua berdasarkan parameter pH dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dari hulu hingga muara. Pengambilan sampel air dilakukan pada tiga segmen sungai, yaitu hulu, tengah, dan muara. Parameter pH diukur secara *in situ* menggunakan pH meter, sedangkan COD dianalisis di laboratorium menggunakan metode titrasi sesuai standar APHA. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan nilai pH dari 7,64 di hulu menjadi 8,13 di muara, serta peningkatan konsentrasi COD dari 154,67 mg/L menjadi 224 mg/L. Pola ini mengindikasikan perubahan kualitas air secara longitudinal yang dipengaruhi oleh proses hidrokimia alami, aktivitas biologis, serta akumulasi bahan organik dan anorganik sepanjang alur sungai. Tren spasial yang konsisten pada kedua parameter tersebut menegaskan bahwa kualitas air Sungai Jembatan Dua cenderung mengalami penurunan secara bertahap ke arah muara, sehingga memerlukan perhatian dalam pengelolaan dan pengendalian kualitas lingkungan perairan.

Kata kunci: Tren spasial, pH, COD, Kualitas Air, Sungai

Pendahuluan

Sungai merupakan salah satu komponen utama dalam sistem hidrologi yang berperan penting dalam menopang kehidupan manusia dan ekosistem alami.

Sungai tidak hanya berfungsi sebagai sumber air baku untuk kebutuhan domestik dan industri, tetapi juga berperan sebagai sarana irigasi pertanian, habitat bagi berbagai organisme akuatik, serta jalur transportasi dan aktivitas ekonomi

masyarakat. Selain itu, sungai menjadi media utama dalam transportasi sedimen, nutrien, dan zat terlarut yang menghubungkan ekosistem daratan dan perairan. Melalui proses tersebut, sungai berperan penting dalam pengaturan siklus biogeokimia dan stabilitas ekosistem regional. Namun, peningkatan tekanan lingkungan akibat perubahan tata guna lahan dan intensifikasi aktivitas antropogenik di daerah aliran sungai (DAS) telah menyebabkan terjadinya perubahan karakteristik fisikokimia air sungai secara spasial dan temporal (Zhang *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2025). Perubahan ini sering kali bersifat progresif dan kumulatif, sehingga berpotensi menurunkan fungsi ekologis sungai serta meningkatkan risiko degradasi kualitas lingkungan perairan (Locke, 2024).

Kualitas air sungai ditentukan oleh interaksi kompleks antara faktor alami dan aktivitas manusia yang berlangsung di sepanjang DAS. Faktor alami mencakup kondisi geologi, jenis tanah, topografi, iklim, serta proses hidrologi seperti limpasan permukaan, infiltrasi, dan aliran bawah tanah yang secara langsung memengaruhi komposisi kimia air sungai (Akhtar *et al.* 2021). Hamid A & Bhat U (2020)

menjelaskan bahwa karakteristik alami tersebut membentuk kondisi dasar kualitas air, khususnya di bagian hulu sungai. Di sisi lain, aktivitas manusia seperti pembuangan limbah domestik, penggunaan pupuk dan pestisida di sektor pertanian, kegiatan peternakan, serta aktivitas industri berkontribusi signifikan terhadap masuknya berbagai jenis pencemar ke badan air. Variasi intensitas dan distribusi aktivitas tersebut menyebabkan perbedaan tekanan pencemaran pada setiap segmen sungai. Akibat kombinasi faktor alami dan antropogenik tersebut, kualitas air sungai umumnya mengalami perubahan dari bagian hulu menuju muara, baik secara bertahap maupun secara signifikan pada lokasi tertentu (Hamid A & Bhat U, 2020).

Parameter pH merupakan indikator dasar yang digunakan secara luas untuk menggambarkan kondisi asam basa suatu perairan. Nilai pH berpengaruh langsung terhadap reaktivitas kimia, spesiasi senyawa terlarut, serta aktivitas biologis organisme akuatik. Kondisi pH yang terlalu asam atau terlalu basa dapat menyebabkan gangguan fisiologis pada organisme air, termasuk menurunnya tingkat kelangsungan hidup dan keanekaragaman hayati. Perubahan pH (Pinheiro *et al.* 2021), sebagaimana

Saalidong et al. (2022); Karczewska (2025) menyatakan bahwa sifat pH air penting dalam mengontrol kelarutan dan mobilitas unsur-unsur kimia, termasuk logam berat, sehingga dapat meningkatkan atau menurunkan potensi toksisitas perairan. Selain itu, fluktuasi pH juga memengaruhi ketersediaan nutrisi esensial bagi fitoplankton dan mikroorganisme. Oleh karena itu, pemantauan pH menjadi aspek krusial dalam kajian kualitas air sungai untuk mengevaluasi stabilitas kimia perairan dan dampaknya terhadap ekosistem akuatik (Liu et al. 2022).

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan salah satu parameter penting yang umum digunakan untuk menilai tingkat pencemaran organik dalam suatu badan perairan. Parameter ini menggambarkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dan anorganik tereduksi secara kimia di dalam air. (Falaah & Wardhana, (2025); Q. Zhang et al. (2025) menyatakan bahwa nilai COD yang tinggi menunjukkan besarnya beban bahan teroksidasi, yang umumnya berasal dari limbah domestik, industri, dan aktivitas pertanian. COD sering digunakan dalam studi kualitas air sungai karena mampu merepresentasikan kondisi pencemaran

secara menyeluruh dalam waktu analisis yang relatif singkat. Dalam sistem sungai, peningkatan nilai COD ke arah hilir sering kali terjadi akibat akumulasi masukan limbah dari berbagai sumber di sepanjang alur sungai. Kondisi ini mencerminkan meningkatnya tekanan antropogenik dan berpotensi menyebabkan penurunan kualitas lingkungan perairan jika tidak dikelola dengan baik (Santika, 2024; Marwan et al., 2023).

Pendekatan analisis kualitas air sungai dapat dilakukan melalui berbagai metode, mulai dari analisis deskriptif hingga analisis statistik inferensial. Analisis korelasi antar parameter sering digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antar variabel kualitas air. Namun, ketika jumlah titik sampling terbatas atau distribusi data tidak merata, pendekatan tersebut menjadi kurang representatif secara metodologis. Huang et al. (2021) menegaskan bahwa dalam kondisi tersebut, analisis tren spasial merupakan pendekatan yang lebih relevan dan informatif. Analisis tren spasial lebih menekankan pada pola perubahan kualitas air sepanjang gradien ruang dibandingkan pada signifikansi statistik semata. Pendekatan ini sangat sesuai untuk kajian sungai karena mampu menggambarkan

dinamika kualitas air dari hulu hingga muara secara sistematis dan berkesinambungan.

Kajian tren spasial kualitas air sungai telah banyak diterapkan untuk mengidentifikasi dampak akumulatif proses alami dan aktivitas antropogenik terhadap sistem perairan. Melalui pendekatan ini, variasi parameter kualitas air dapat dianalisis untuk mengungkap pola peningkatan atau penurunan kualitas air pada segmen tertentu sungai. (Chapman 1996) menjelaskan bahwa pola tren spasial dapat memberikan informasi penting mengenai lokasi sumber pencemar, mekanisme transport zat pencemar, serta proses transformasi kimia yang terjadi di dalam perairan sungai. Informasi tersebut sangat berguna dalam evaluasi kondisi lingkungan, penentuan prioritas pengelolaan, serta penyusunan strategi pengendalian pencemaran berbasis DAS. Dengan demikian, analisis tren spasial menjadi alat penting dalam kajian kualitas air sungai yang berorientasi pada pengelolaan lingkungan berkelanjutan.

Penelitian ini difokuskan pada analisis tren spasial parameter pH dan COD sepanjang alur sungai yang dibagi ke dalam tiga segmen utama, yaitu hulu, tengah, dan muara. Pembagian segmen tersebut

dimaksudkan untuk merepresentasikan perbedaan karakteristik lingkungan, penggunaan lahan, serta intensitas aktivitas antropogenik pada setiap bagian sungai. Parameter pH dipilih untuk menggambarkan kondisi kimia dasar perairan, sedangkan COD digunakan sebagai indikator tingkat pencemaran organik. Pemilihan kedua parameter ini didasarkan pada perannya yang fundamental dalam menilai kualitas air sungai, sebagaimana ditunjukkan dalam studi longitudinal (Chapman 1996). Melalui analisis tren spasial kedua parameter tersebut, penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran umum mengenai dinamika kualitas air sungai serta implikasinya terhadap pengelolaan lingkungan perairan.

Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di sekitar lokasi sungai Jembatan Dua (Kujabu), Laboratorium Jurusan Kimia FMIPA Uncen, dan Laboratorium Terpadu Universitas Papua. Penelitian rencana akan dilakukan pada bulan Juni sampai bulan Juli 2025.

Teknik Pengambilan data Penelitian.

Sampel air diambil dari sungai Jembatan Dua secara acak pada tiga lokasi

yang berbeda yaitu lokasi pertama berada di hulu berdekatan dengan lokasi pertambangan, lokasi kedua terletak di pertengahan, dan lokasi ketiga berada di daerah muara yang berdekatan langsung dengan danau Sentani. Teknik pengumpulan data terbagi menjadi dua bagian yaitu, pertama yang parameter Kimia pH diambil langsung pada lokasi pengambilan sampel air dan bagian keduanya pada pengujian parameter COD dilakukan analisis di laboratorium.

Analisis Power of Hydrogen (pH)

Analisis Power of Hydrogen (pH) atau yang dikenal dengan pengujian kadar ion hidrogen (H^+) atau tingkat keasaman dalam sampel air. Pengujian dilakukan menggunakan instrumen pH meter langsung di lapangan.

Sampel air sungai kudjabu titik lokasi muara sungai diambil dan ditampung pada alat penampung, kemudian dilakukan pengukuran menggunakan instrume pH meter. Pengujian pH dilakukan secara triplo pada ketiga titik lokasi hulu, tengah, dan muara untuk digunakan nilai rata-rata sebagai data analisis lapangan.

Analisis chemical oxygen demand (COD)

Pengukuran kadar COD dalam sampel air menggunakan metode Umay dan Cuvin (1988); APHA (1989) secara titrasi. Pertama-tama 2 mL sampel air sungai kudjabu diencerkan menggunakan aquades pada labu 10 mL, kemudian diambil 5 mL dan dicampurkan atau direaksikan dengan 10 mL H_2SO_4 3 M dan 5 mL $K_2Cr_2O_7$. Campuran larutan sampel kemudian dikocok, dipanaskan selama 30 menit, kemudian hentikan pemanasan dan larutan sampel didiamkan sehingga temperatur turun pada suhu kamar ($25^{\circ}C$). Gelas erlenmeyer berisi larutan sampel dibungkus menggunakan aluminium foil dan ditambahkan 1 mL larutan KI 10%. Melakukan titrasi dengan $Na_2S_2O_3$ 0,1 M sampai larutan berubah warna berbentuk warna kuning jerami, lalu ditambahkan amilum sebagai indikator sebanyak 3 tetes dan dititrasi larutan hingga terdapat perubahan warna biru menjadi hijau muda. Kemudian dihitung jumlah COD menggunakan rumus :

$$COD = \frac{(V_{blanko} - V_{sampel}) \times N_{Na_2S_2O_3} \times 8000 \times fp}{V_{sampel}}$$

Pengukuran dilakukan untuk setiap sampel dari tiga lokasi pengambilan dengan rincina masing-masing lokasi pengambilan.

Hasil dan Pembahasan

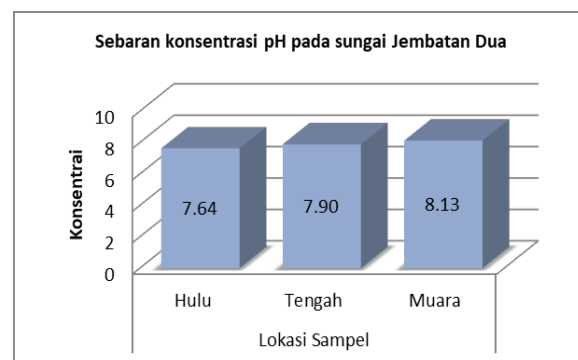
Hasila anlalsisi kualitas air sungai Jembatan Dua, Jayapura, Papua terhadap dua parameter fisiko kimia yaitu power of hydrogen (pH) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada tiga lokasi penelitian ditampilkan pada tabel 1 berikut ini

Tabel 1. Hasil Analisis Parameter pH dan COD

No	Parameter	Lokasi Sampel		
		Hulu	Tengah	Muara
1	COD	154.67	197.33	224
2	pH	7.64	7.90	8.13

Hasil penelitian menunjukkan adanya pola tren spasial yang jelas pada parameter pH dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sepanjang alur Sungai Jembatan Dua, Jayapura, Papua, dari lokasi hulu hingga muara. Kedua parameter tersebut memperlihatkan kecenderungan peningkatan nilai secara bertahap, yang mengindikasikan terjadinya perubahan kualitas air sungai secara longitudinal. Pola perubahan ini mencerminkan interaksi antara proses hidrokimia alami dan tekanan antropogenik yang semakin meningkat ke arah hilir, sebagaimana umum dijumpai pada sistem sungai yang melewati kawasan dengan aktivitas manusia yang beragam (Listyani et

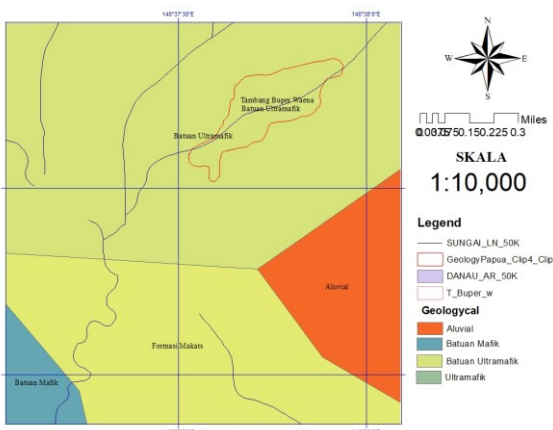
al. 2021) (Wibawa et al., 2019)(Zhang et al., 2025) sedangkan konsentrasi parameter pH yang meningkat dari 7,64 di bagian hulu menjadi 8,13 di muara menunjukkan pergeseran kondisi perairan menuju sifat yang lebih basa.



Gambar 1. Grafik sebaran konsentrasi pH

Pada bagian hulu, kualitas air sungai umumnya masih dipengaruhi oleh kondisi antara campuran antropogenik dan proses alami, seperti pertambangan berskala kecil, pembuangan limbah rumah tangga dan pertanian masyarakat lokal, juga pelapukan batuan, interaksi air tanah, serta kontribusi aliran bawah tanah, sehingga nilai pH cenderung berada pada kisaran netral (Hagens et al. 2015). Seiring aliran sungai menuju bagian tengah dan muara, terjadi peningkatan masukan zat terlarut yang lebih banyak secara alamiah karena pada lokasi tersebut hampir tidak terdapat aktivitas manusia. Jika ditinjau berdasarkan digitasi

geologi (gambar. 1), wilayah aliran sungai Jembatan tersusun atau ditopang oleh batuan ultramafik dan mafik, yang berpotensi meningkatkan konsentrasi ion bikarbonat (HCO_3^-), karbonat (CO_3^{2-}), kalsium (Ca^{2+}), dan juga magnesium (Mg^{2+}) dalam air. Proses ini berkontribusi terhadap meningkatnya alkalinitas dan nilai pH perairan di bagian hilir sungai (Krimadi et al., 2022).

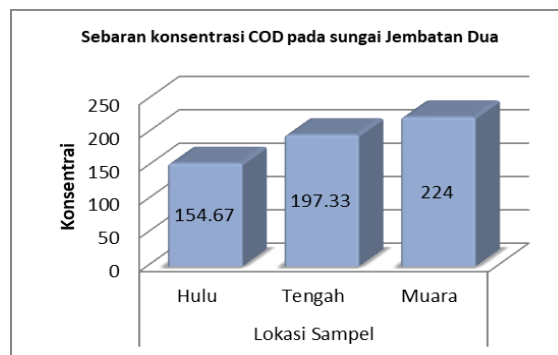


Gambar 2. Peta Geologi Sungai Jembatan Dua (ArcGIS Resources 2012)

Selain faktor geokimia, aktivitas biologis juga berperan penting dalam mengontrol variasi pH sepanjang sungai. Peningkatan nutrisi dan bahan organik di bagian tengah dan muara dapat merangsang pertumbuhan fitoplankton dan mikroorganisme akuatik. Aktivitas fotosintesis yang intensif menyebabkan penurunan konsentrasi karbon dioksida terlarut, sehingga menggeser kesetimbangan

sistem karbonat ke arah peningkatan pH (Y. Zhang et al. 2019; Kamjunke et al. 2023).

Tren peningkatan konsentrasi COD dari hulu sungai (154,67 mg/L) ke muara sungai (224 mg/L) menunjukkan adanya akumulasi beban bahan organik, inorganik dan senyawa tereduksi sepanjang alur sungai. Nilai COD yang relatif lebih rendah di bagian hulu mengindikasikan bahwa sumber bahan kimia terlarut masih didominasi oleh sedikit limbah rumah tangga limbah bahan tambang yang cepat mengalir karena kemiringan gradien sungai. Namun, pada bagian tengah dan muara, sungai menerima tambahan beban pencemar bahan organik dan lainnya di sepanjang daerah aliran sungai yang diprediksi dari hasil pengikisan dan pembusukan yang terakumulasi.



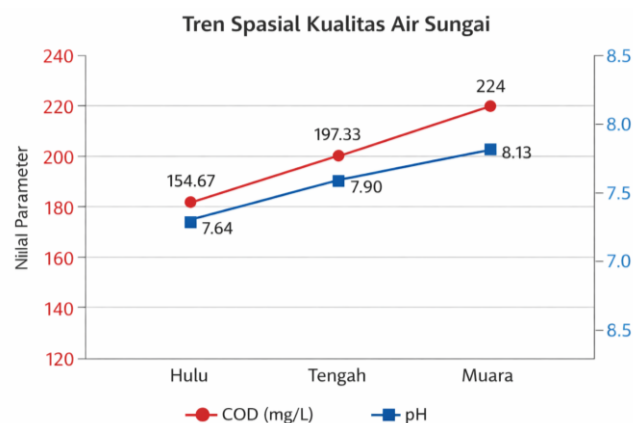
Gambar 3. Grafik peningkatan konsentrasi COD dari hulu ke muara sungai Jembatan Dua

Peningkatan nilai COD ke arah hilir mencerminkan meningkatnya kebutuhan

oksigen untuk mengoksidasi senyawa organik dan anorganik tereduksi di dalam air. Kondisi ini merupakan indikator penting degradasi kualitas air, karena nilai COD yang tinggi sering berkorelasi dengan penurunan kualitas lingkungan perairan dan potensi gangguan terhadap organisme akuatik (Lv et al. 2024). Pola serupa juga dilaporkan oleh (Creed et al. 2015), yang menemukan bahwa nilai COD pada sungai cenderung meningkat secara longitudinal akibat akumulasi masukan pencemar bahan karbon organik dari berbagai sumber sepanjang alur sungai.

Konsistensi tren peningkatan pH dan COD menunjukkan bahwa perubahan kualitas air Sungai Jembatan Dua tidak berlangsung secara acak, melainkan mengikuti gradien longitudinal sungai yang mencerminkan dinamika proses hidrokimia sepanjang alur aliran sungai. Interaksi antara proses hidrokimia alami dan kontribusi antropogenik yang terbatas menghasilkan perubahan bertahap pada parameter kualitas air, dengan kecenderungan yang semakin nyata ke arah hilir sungai. Meskipun penelitian ini tidak melakukan analisis korelasi statistik inferensial, kecenderungan peningkatan kedua parameter secara bersamaan memberikan indikasi adanya

keterkaitan fungsional dalam dinamika kualitas air sungai (Liu et al, 2023). Pendekatan analisis tren spasial yang digunakan dalam penelitian ini terbukti relevan untuk menggambarkan perubahan kualitas air sungai, khususnya pada kondisi keterbatasan jumlah titik sampling. (Chapman 1996) menegaskan bahwa analisis tren spasial mampu memberikan informasi yang bermakna mengenai dinamika kualitas air sungai dengan menekankan pola perubahan sepanjang gradien ruang, tanpa bergantung sepenuhnya pada signifikansi statistik. Dalam konteks pengelolaan daerah aliran sungai, informasi mengenai peningkatan pH dan COD ke arah muara sangat penting untuk mengidentifikasi area prioritas pengendalian pencemaran.



Gambar 4. Grafik tren spasial Perubahan konsentrasi pH dan COD

Kurva tren spasial kualitas air menunjukkan adanya peningkatan bertahap konsentrasi COD dan pH dari hulu ke muara, hal mencerminkan akumulasi bahan organik dan inorganik, perubahan kimia perairan, serta sedikit pengaruh aktivitas antropogenik sepanjang alur sungai. Pola konsisten ini menegaskan adanya gradien spasial yang signifikan meskipun jumlah titik sampling terbatas. Fenomena serupa telah dilaporkan di sungai Han, Korea Selatan, di mana parameter COD, BOD, dan nutrisi menunjukkan tren meningkat atau menurun secara spasial sesuai penggunaan lahan dan aktivitas manusia (Chang 2008), serta di sungai Jepang, di mana parameter pH dan COD dianalisis secara spasial untuk menilai perubahan kualitas air di berbagai stasiun monitoring (Luo et al, 2011). Temuan ini menekankan relevansi analisis tren spasial sebagai pendekatan deskriptif untuk memahami dinamika kualitas air sungai dan sebagai dasar pengelolaan lingkungan berbasis gradien spasial.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas air Sungai Jembatan Dua mengalami penurunan secara bertahap dari hulu ke muara, yang tercermin dari peningkatan nilai pH dan COD. Hasil analisis ini menegaskan pentingnya

pengelolaan daerah aliran sungai secara terpadu, dengan fokus pada pengendalian sumber pencemar di bagian hulu dan tengah sungai untuk mencegah akumulasi beban pencemaran di daerah hilir dan juga dapat menjadi dasar bagi kajian lanjutan dengan penambahan parameter kualitas air dan resolusi spasial yang lebih tinggi guna mendukung pengelolaan lingkungan perairan yang berkelanjutan

Kesimpulan

Berdasarkan analisis tren spasial pH dan COD Sungai Jembatan Dua menunjukkan perubahan kualitas air dari hulu ke muara:

1. Konsentrasi pH meningkat dari 7,64 menjadi 8,13, menandakan kondisi air sedikit lebih bersifat basa ke arah muara sungai.
2. Konsentras COD naik dari 154,67 mg/L menjadi 224 mg/L, menunjukkan akumulasi material kimia organik, inorganik dan limbah.
3. Pola tren spasial ini menekankan perlunya pengelolaan sungai terpadu untuk mencegah degradasi kualitas air di hilir.

Daftar Pustaka

Aadil Hamid, Sami Ullah Bhat, Arshid Jehangir. 2020. "Local Determinants

- Influencing Stream Water Quality.” *Applied Water Science*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13201-019-1043-4>.
- Akhtar, Naseem, Muhammad Izzuddin, Syakir Ishak, Showkat Ahmad Bhawani, and Khalid Umar. 2021. “Various Natural and Anthropogenic Factors Responsible for Water Quality Degradation : A Review.”
- Andy Wibawa Nurrohman¹, M. Widyastuti, Slamet Suprayogi ¹). 2019. “EVALUASI KUALITAS AIR MENGGUNAKAN INDEKS PENCEMARAN” 13 (1): 74–84.
- ArcGIS Resources. 2012. “ArcGIS 10.1 for Desktop System Requirements. <Http://Resources.Arcgis.Com/En/Help/System-Requirements/10.1/>. Diakses Tanggal Agustus 2025.”
- Association)., APHA (American Public Health. 1989. “Standard Method for the Examination of Water and Waste Water.” *American Public Health Association. Water Pollution Control Federation. Port City Press. Baltimore, Mariland. 1202*.
- Chang, H. 2008. “Spatial Analysis of Water Quality Trends in the Han River Basin, South Korea.” *Water Research* 42 (13): 3285–3304.
- Chapman, Deborah. 1996. “Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota , Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition Edited By.”
- Creed, Irena F, Diane M Mcknight, Brian A Pellerin, Mark B Green, Brian A Bergamaschi, George R Aiken, Douglas A Burns, et al. 2015. “The River as a Chemostat : Fresh Perspectives on Dissolved Organic Matter Flowing down the River Continuum” 14 (April): 1–14.
- Falaah, Daffa Dwi, and Varrel Raffalino Wardhana. 2025. “Water Quality Analysis of Kalidami River Surabaya City Using Biomonitoring Method” 4 (1): 29–36.
- Fang Liu, Tianling Qin, Hao Wang, Shanshan Liu, Hanjiang Nie, Jianwei Wang. 2023. “Scale Effect of Sloping Landscape Characteristics on River Water Quality in the Upper Reaches of the Si River In.”
- Hagens, M, C P Slomp, F J R Meysman, D Seitaj, J Harlay, A V Borges, and J J Middelburg. 2015. “Biogeochemical Processes and Buffering Capacity Concurrently Affect Acidification in a

- Seasonally Hypoxic Coastal Marine Basin,” 1561–83. <https://doi.org/10.5194/bg-12-1561-2015>.
- Huang, Jiacong, Yinjun Zhang, Haijian Bing, Jian Peng, Feifei Dong, Junfeng Gao, George B. Arhonditsis. 2021. “Characterizing the River Water Quality in China: Recent Progress and on-Going Challenges.” *Water Research* 201: 117309.
- Kamjunke, Norbert, Holger Brix, Götz Flöser, Ingeborg Bussmann, Claudia Schütze, Eric P Achterberg, Uta Ködel, et al. 2023. “Science of the Total Environment Large-Scale Nutrient and Carbon Dynamics along the River-Estuary- Ocean Continuum” 890 (January).
- Karczewska, Karolina Lewińska · A. 2025. “Solubility of Cu, Zn, Pb and as in Various Treated Soils of Historical Mining Sites Subjected to Waterlogged Conditions.” *Journal of Soils and Sediments* (2025).
- Listyani, T R A, Purwita Rosa Nugrahani, Irghi Reynaldi Adam, and Raras Prabowo. 2021. “Proses Hidrokimia Pada Air Dolina Kars Gunungsewu Di Kabupaten Gunungkidul , Yogyakarta” 4.
- Liu, Fengjie, Martha Gledhill, Qiao-guo Tan, Kechen Zhu, Qiong Zhang, Pascal Salaün, Alessandro Tagliabue, et al. 2022. “Phycosphere PH of Unicellular Nano- and Micro- Phytoplankton Cells and Consequences for Iron Speciation,” no. June: 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41396-022-01280-1>.
- Locke, Kent Anson. 2024. “Modelling Relationships between Land Use and Water Quality Using Statistical Methods : A Critical and Applied Review.” *Journal of Environmental Management* 362 (May): 121290. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121290>.
- Lv, Zongqing, Xiangbin Ran, Jun Liu, Yao Feng, Xiaosong Zhong, and Nianzhi Jiao. 2024. “Effectiveness of Chemical Oxygen Demand as an Indicator of Organic Pollution in Aquatic Environments.” *Ocean-Land-Atmosphere Research*, 1–14.
- Marwan, Dyan Agung, E K O Haryono, Agus Joko Pitoyo, Tjahyo Nugroho Adji, and Gifari Shadad Ramadhan. 2023. “Jurnal Teknologi Lingkungan Analisis Kualitas Dan Status Mutu Air

- Di Sungai Sumurup , Kabupaten Gunungkidul Analysis of Water Quality Status on Sumurup River , Gunungkidul Regency” 24 (2): 127–36.
- N, Krimadi L., D. M Abulais, and dan Tokoro D. 2022. “Minyak Atsiri Jahe Gajah Sebagai Pestisida Nabati Bagi Kutu Kebul Menggunakan Metode Destilasi Uap 1.” *Kimia, Jurusan Cenderawasih, Universitas* 6 (November): 55–68.
- Pingping Luo, Bin He, Kaoru Takara, Bam H. N. Razafindrabe, Daniel Novere, Yosuke Yamashikic. 2011. “Spatiotemporal Trend Analysis of Recent River Water Quality Conditions in Japan.” *Journal of Environmental Monitoring*, 2819–29.
- Pinheiro, Paulo S, Fredric M Windsor, Rod W Wilson, and Charles R Tyler. 2021. “Global Variation in Freshwater Physico- Chemistry and Its in Fl Uence on Chemical Toxicity in Aquatic Wildlife” 96: 1528–46. <https://doi.org/10.1111/brv.12711>.
- Saalidong, Benjamin M, Simon Appah Aram, Samuel Otu, and Patrick Osei Lartey. 2022. “Examining the Dynamics of the Relationship between Water PH and Other Water Quality Parameters in Ground and Surface Water Systems,” 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262117>.
- Santika, Youhana Eli. 2024. “Analisis Status Mutu Air Dengan Metode Indeks Pencemaran Berdasarkan Parameter Fisika-Kimia Di Sungai Beji , Desa Pondok ,” *JURNAL EKOSAINS XVI* (1): 30–43.
- UMALY, R.C. dan Ma L.A. CUVIN. 1988. “Limnology: Laboratory and Field Guide, Physicochemical Factors, Biological Factors.” *National Book Store, Inc. Publishers. Metro Manila*. 322p.
- Zhang, Haoran, Huihang Sun, Jiarong Li, Yuelei Li, Luyu Zhang, Ruikun Zhao, Xiangang Hu, Nanqi Ren, and Yu Tian. 2025. “Natural and Anthropogenic Imprints on Seasonal River Water Quality Trends across China.” <https://doi.org/10.1038/s41545-025-00481-3>.
- Zhang, Mingxi, Guangzhi Rong, Aru Han, Dao Riao, Xingpeng Liu, and Jiquan Zhang. 2021. “Spatial-Temporal Change of Land Use and Its Impact on Water Quality of East-Liao River Basin from 2000 to 2020,” 1–16.

Zhang, Qinghuan, Zishu Ye, Chun Ye, Chunhua Li, Yang Wang, Ye Zheng, and Yongzhe Zhang. 2025. "Evaluation of the Water Eco-Environmental Quality of a Typical Shallow Lake in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River Basin," 1–18.

Zhang, Xiaojing, Bing Yu, Zhuohang Xin, Ming Cong, and Chi Zhang. 2025. "Spatial – Temporal Variations of

River Water Quality under Human-Induced Land Use Changes in Large River Basins," 1–14.

Zhang, Yafeng, Yonghui Gao, David L Kirchman, Matthew T Cottrell, Rong Chen, Kuo Wang, Zhangxian Ouyang, et al. 2019. "Biological Regulation of PH during Intensive Growth of Phytoplankton in Two Eutrophic Estuarine Waters" 609: 87–99.