

Penilaian Kualitas Air Sungai Pondo Berdasarkan Parameter Fisikokimia, Logam Berat, Dan Metode STORET

Jusman^{1*}, Syamsuddin¹

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tadulako, Palu, Indonesia

Email: ^{1*}jusman_palu04@yahoo.com, ¹syamsuddinpalu2023@gmail.com

(*coresponding author)

Abstrak - Kualitas air Sungai Pondo di kawasan Poboya mengalami tekanan lingkungan yang berkaitan dengan berbagai aktivitas di sepanjang daerah aliran sungai. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kondisi kualitas air berdasarkan parameter fisikokimia dan logam berat serta menentukan status mutu menggunakan metode STORET. Sampel air dibandingkan antara bagian hulu dan hilir. Parameter yang dievaluasi meliputi total dissolved solids, total suspended solids, kekeruhan, pH, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, tembaga, kadmium, timbal, seng, dan besi. Hasil menunjukkan bahwa total dissolved solids menurun dari 162 menjadi 146 mg/L, sedangkan total suspended solids meningkat dari 11,2 menjadi 21 mg/L. Kekeruhan meningkat dari 3 menjadi 4 NTU, pH dari 7,2 menjadi 7,4, biochemical oxygen demand dari 0,94 menjadi 1,73 mg/L, dan chemical oxygen demand dari 2,02 menjadi 2,67 mg/L. Dissolved oxygen menurun dari 6,67 menjadi 6,47 mg/L. Tembaga, kadmium, timbal, dan seng tidak terdeteksi, sedangkan besi meningkat dari 0,038 menjadi 0,047 mg/L. Skor STORET total sebesar -2 menempatkan kualitas air pada kategori baik. Temuan menunjukkan perubahan spasial kualitas air dan menegaskan pentingnya pemantauan berkelanjutan serta evaluasi logam pada sedimen dan biota.

Kata Kunci: Sungai Pondo, Kualitas Air, Poboya, Logam Berat, STORET

Abstract - Water quality in the Pondo River, Poboya, is subject to environmental pressures associated with activities along the watershed. This study evaluated water quality using physicochemical parameters and heavy metals and determined the overall status using the STORET method. Water samples from upstream and downstream sections were compared. The evaluated parameters included total dissolved solids, total suspended solids, turbidity, pH, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, copper, cadmium, lead, zinc, and iron. Total dissolved solids decreased from 162 to 146 mg/L, whereas total suspended solids increased from 11.2 to 21 mg/L. Turbidity increased from 3 to 4 NTU, pH from 7.2 to 7.4, biochemical oxygen demand from 0.94 to 1.73 mg/L, and chemical oxygen demand from 2.02 to 2.67 mg/L. Dissolved oxygen decreased from 6.67 to 6.47 mg/L. Copper, cadmium, lead, and zinc were not detected, whereas iron increased from 0.038 to 0.047 mg/L. The total STORET score was -2, placing the reported water quality in the good category. The findings demonstrate measurable spatial changes in river-water quality and support continued monitoring, including assessment of metals in sediment and aquatic biota.

Keywords: Pondo River, Water Quality, Poboya, Heavy Metals, STORET

1. PENDAHULUAN

Kualitas air sungai merupakan komponen penting dalam keberlanjutan ekosistem perairan, ketersediaan sumber daya air, dan perlindungan kesehatan masyarakat. Sungai menerima masukan bahan dari aktivitas antropogenik dan proses alami sehingga kualitas air dapat berubah secara spasial maupun temporal. Pengelolaan kualitas air karena itu memerlukan pendekatan terpadu yang mempertimbangkan karakteristik fisik, kimia, biologis, dan sumber masukan dalam daerah aliran sungai (Giri, 2021). Analisis skala besar terhadap catatan pemantauan sungai di China juga menunjukkan bahwa kondisi kualitas air dipengaruhi oleh faktor antropogenik dan karakteristik wilayah (Huang et al., 2021).

Perubahan penggunaan lahan, pertanian, kegiatan domestik, industri, urbanisasi, deforestasi, dan peternakan dapat meningkatkan masukan sedimen, nutrisi, bahan organik, logam berat, dan kontaminan lain ke badan air (Nguyen et al., 2023). Pemantauan kualitas air diperlukan untuk mendeteksi perubahan tersebut dan menyediakan dasar pengelolaan lingkungan. Farouk et al. (2023) menekankan bahwa pemantauan konvensional dan teknologi pemantauan modern memiliki peran penting dalam menghasilkan informasi kondisi perairan secara berkelanjutan.

Permasalahan tersebut menjadi lebih kompleks pada wilayah artisanal and small-scale gold mining (ASGM). Produksi emas ASGM dan penggunaan merkuri dalam skala global menunjukkan

besarnya potensi tekanan lingkungan dari aktivitas tersebut (Cheng et al., 2023). Perubahan teknologi pengolahan dari amalgamasi menuju sianidasi juga dapat mengubah bentuk dan jalur transportasi kontaminan dalam lingkungan (Malone et al., 2023). Kajian di Asia Tenggara menunjukkan bahwa merkuri dapat ditemukan pada air, tanah, dan sedimen, sedangkan kajian ASGM di Indonesia menunjukkan bahwa pencemaran dapat melibatkan berbagai media lingkungan dan tidak terbatas pada satu unsur (Soe et al., 2022; Meutia et al., 2022). Unsur lain seperti Fe, Mn, Cu, Ni, Cr, As, Pb, dan Zn juga telah dilaporkan pada wilayah ASGM (Mimba et al., 2023).

Kondisi tersebut relevan dengan kawasan Poboya dan Sungai Pondo di Kota Palu, Sulawesi Tengah. Penelitian pada kawasan Poboya menunjukkan adanya variasi merkuri dan respons organisme akuatik terhadap kondisi lingkungan. Hasriyanty et al. (2022) menemukan 23 spesies serangga akuatik dari tujuh ordo dan 14 famili pada enam lokasi, dengan merkuri melampaui ambang pada dua lokasi dan kecenderungan penurunan keanekaragaman menuju hilir. Okviyani et al. (2023) juga melaporkan variasi konsentrasi merkuri pada beberapa lokasi Sungai Poboya dan kolam pengendapan. Bukti tersebut menunjukkan bahwa kawasan Poboya telah mengalami perhatian penelitian terkait kualitas air dan kontaminasi logam, tetapi sebagian penelitian lebih menekankan merkuri atau indikator biologis tertentu.

Penelitian pada wilayah ASGM lain memperlihatkan pentingnya memperluas evaluasi ke parameter fisikokimia dan logam secara simultan. Basir et al. (2022) menemukan Hg, Pb, As, dan Zn pada sedimen kawasan ASGM Gorontalo, sedangkan Budianta (2021) menunjukkan bahwa Cu, Pb, Zn, dan Cd dapat memiliki pola mobilitas berbeda sepanjang sistem sungai. Penelitian yang lebih baru di Gunung Pongkor juga menunjukkan perubahan spasial merkuri pada air dan sedimen (Agustiani et al., 2025a), sementara studi multimedia di Sukabumi memperlihatkan bahwa kontaminasi dapat ditemukan pada ikan, tanaman, tanah, dan tailing (Agustiani et al., 2025b). Temuan tersebut menunjukkan bahwa kondisi kolom air perlu dipahami dalam konteks perubahan spasial dan kemungkinan distribusi kontaminan pada media lingkungan lainnya.

Meskipun berbagai penelitian telah mendokumentasikan logam berat dan perubahan kualitas lingkungan di kawasan Poboya, informasi yang mengintegrasikan parameter fisikokimia, logam berat, perbandingan hulu–hilir, dan status mutu air masih terbatas. Penilaian menggunakan indeks kualitas air juga dapat memberikan hasil berbeda bergantung pada parameter dan aturan agregasi yang digunakan (Ardyantoro et al., 2025; Fitriana et al., 2025). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi kualitas air Sungai Pondo berdasarkan parameter fisikokimia dan logam berat pada bagian hulu dan hilir serta menentukan status kualitas air menggunakan metode STORET. Pendekatan tersebut diharapkan memberikan gambaran kuantitatif mengenai perubahan kualitas air sepanjang aliran dan menyediakan dasar bagi pemantauan lingkungan yang berkelanjutan.

2. METODE

2.1 Desain Penelitian dan Lokasi

Penelitian menggunakan desain observasional dengan pendekatan komparatif spasial pada Sungai Pondo/Poboya. Kondisi kualitas air dibandingkan antara bagian hulu dan hilir untuk menggambarkan perubahan parameter sepanjang aliran. Di mana bagian hulu digunakan sebagai titik acuan, sedangkan lokasi menuju hilir dipantau untuk mengamati perubahan kualitas air terkait aktivitas di sepanjang daerah aliran sungai.

2.2 Pengambilan Sampel Air

Sampel air diperoleh dari bagian hulu dan hilir Sungai Pondo/Poboya. Pengambilan sampel menggunakan pendekatan grab sampling. Sampel digunakan untuk pengukuran parameter kualitas air dan analisis logam berat.

2.3 Analisis Parameter Fisikokimia dan Logam Berat

Parameter fisikokimia meliputi total dissolved solids (TDS), total suspended solids (TSS), kekeruhan, pH, dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD), dan chemical oxygen demand (COD). Parameter logam meliputi tembaga (Cu), kadmium (Cd), timbal (Pb), seng (Zn),

dan besi (Fe). Analisis logam berat menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Konsentrasi hasil pengukuran digunakan sebagai dasar perbandingan dengan nilai baku mutu dan penilaian status kualitas air.

2.4 Penilaian Kualitas Air dengan STORET

Status kualitas air ditentukan menggunakan metode STORET dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap baku mutu yang digunakan dalam penelitian.

2.5 Analisis Data

Data dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan nilai hulu dan hilir. Perubahan absolut dan persentase dihitung untuk parameter yang memiliki nilai numerik. Hasil logam dengan keterangan Ttd dipertahankan sebagai tidak terdeteksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Umum Kualitas Air

Hasil penelitian menunjukkan adanya perubahan kondisi kualitas air antara bagian hulu dan hilir Sungai Pondo. TSS meningkat dari 11,2 menjadi 21,0 mg/L, BOD dari 0,94 menjadi 1,73 mg/L, dan COD dari 2,02 menjadi 2,67 mg/L, sedangkan DO sedikit menurun dari 6,67 menjadi 6,47 mg/L. Pola tersebut menunjukkan peningkatan material tersuspensi dan kebutuhan oksigen menuju bagian hilir. Namun, perubahan tersebut tidak cukup untuk menetapkan pertambangan sebagai sumber tunggal karena masukan domestik, pertanian, limpasan, aktivitas industri, transportasi sedimen, dan proses geokimia juga dapat memengaruhi kualitas air (Nguyen et al., 2023; Fachrudin & Rismawati, 2026).

Tabel 1. Perubahan Parameter Fisikokimia Air Sungai Pondo dari Hulu ke Hilir

Parameter	Hulu	Hilir	Perubahan
TDS (mg/L)	162	146	-16 (-9,9%)
TSS (mg/L)	11,20	21,00	+9,80 (+87,5%)
Kekeruhan (NTU)	3	4	+1 (+33,3%)
pH	7,2	7,4	+0,2 (+2,8%)
DO (mg/L)	6,67	6,47	-0,20 (-3,0%)
BOD (mg/L)	0,94	1,73	+0,79 (+84,0%)
COD (mg/L)	2,02	2,67	+0,65 (+32,2%)

Nilai TDS menurun dari 162 menjadi 146 mg/L, sedangkan TSS dan kekeruhan meningkat. Peningkatan TSS sebesar 87,5% merupakan perubahan relatif terbesar di antara parameter fisikokimia yang tersedia. BOD meningkat 84,0% dan COD 32,2%, sementara DO menurun 3,0%. Pola peningkatan beban tersuspensi dan kebutuhan oksigen juga ditemukan pada sungai yang menerima tekanan antropogenik. Fachrudin dan Rismawati (2026) menunjukkan bahwa limpasan dan aktivitas antropogenik dapat meningkatkan kekeruhan, BOD, dan COD. Feisal et al. (2023) menunjukkan bahwa variasi TSS, BOD, dan pH berhubungan dengan perubahan komunitas akuatik. Dengan demikian, perubahan pada Pondo perlu dipahami sebagai respons multidimensional dari sistem sungai.

Nilai pH sebesar 7,2–7,4 dan DO sebesar 6,47–6,67 mg/L menunjukkan kondisi yang relatif stabil berdasarkan batas yang tercantum dalam laporan sumber. Namun, kondisi relatif baik pada kolom air tidak selalu menggambarkan seluruh kondisi ekosistem. Penelitian pada sistem sungai yang dipengaruhi pertambangan menunjukkan bahwa kontaminan dapat terdistribusi antara air, material tersuspensi, sedimen, dan biota (Budianta, 2021; Agustiani et al., 2025a).

3.2 Konsentrasi Logam Berat

Cu, Cd, Pb, dan Zn tercatat sebagai Ttd pada kedua lokasi, sedangkan Fe merupakan logam yang memiliki konsentrasi terdeteksi pada lokasi tersebut. Fe meningkat dari 0,038 mg/L pada hulu menjadi 0,047 mg/L pada hilir, atau meningkat 0,009 mg/L (23,7%). Ttd menunjukkan bahwa konsentrasi berada di bawah kemampuan deteksi metode pada kondisi analisis yang digunakan, tetapi tidak dapat ditafsirkan sebagai bukti bahwa unsur tersebut sama sekali tidak terdapat di lingkungan.

Tabel 2. Konsentrasi Logam Berat Pada Air Sungai Pondo

Parameter	Hulu (mg/L)	Hilir (mg/L)	Pola
Cu	Ttd	Ttd	Tidak terdeteksi
Cd	Ttd	Ttd	Tidak terdeteksi
Pb	Ttd	Ttd	Tidak terdeteksi
Zn	Ttd	Ttd	Tidak terdeteksi
Fe	0,038	0,047	Meningkat 23,7%

Catatan: Ttd = tidak terdeteksi .

Pola Fe pada Pondo berbeda dari beberapa lokasi ASGM yang menunjukkan konsentrasi multi-logam tinggi terutama pada sedimen. Basir et al. (2022) melaporkan Hg, Pb, As, dan Zn pada sedimen kawasan ASGM Gorontalo, sedangkan Budianta (2021) menunjukkan bahwa Cu, Pb, Zn, dan Cd memiliki mobilitas berbeda sepanjang Sungai Tajum. Agustiani et al. (2025a) juga menunjukkan bahwa Hg pada air dan sedimen dapat memperlihatkan pola spasial yang berbeda. Perbedaan tersebut memperkuat bahwa konsentrasi pada kolom air tidak selalu merepresentasikan keseluruhan beban kontaminan dalam daerah aliran sungai. Nilai Fe yang tercantum dalam tabel 2 menunjukkan adanya perubahan terhadap nilai baku mutu, di mana baku mutu Fe yang tercantum adalah 0,021 mg/L, sedangkan konsentrasi terukur adalah 0,038 mg/L di hulu dan 0,047 mg/L di hilir.

Tabel 3. Perbandingan Konsentrasi Fe Dengan Nilai Baku Mutu yang Tercantum

Lokasi	Fe terukur (mg/L)	Baku mutu tercantum (mg/L)	Selisih (mg/L)
Hulu	0,038	0,021	+0,017
Hilir	0,047	0,021	+0,026

3.3 Penilaian Kualitas Air Berdasarkan STORET

Penilaian STORET menghasilkan skor total -2. Sebagian besar parameter memperoleh skor 0, sedangkan pH dan Fe masing-masing memperoleh -1. Klasifikasi yang digunakan dalam penelitian tersebut menempatkan skor tersebut pada kategori baik. Hasil ini menunjukkan bahwa agregasi parameter dalam indeks menghasilkan status umum yang relatif baik meskipun terdapat parameter yang memberikan kontribusi negatif.

Tabel 4. Ringkasan Skor STORET Sungai Pondo

Komponen	Skor
Sebagian besar parameter	0
pH	-1
Fe	-1
Total STORET	-2

Interpretasi STORET perlu mempertimbangkan karakteristik parameter dan aturan agregasi. Ardyantoro et al. (2025) menunjukkan bahwa STORET dan Indeks Pencemaran dapat menghasilkan klasifikasi berbeda pada sungai yang sama. Fitriana et al. (2025) juga menunjukkan bahwa perbedaan metode indeks dapat menghasilkan tingkat keparahan yang berbeda. Oleh karena itu, skor -2 pada Pondo sebaiknya dipandang sebagai ringkasan status berdasarkan parameter dan kriteria yang digunakan, bukan sebagai ukuran tunggal seluruh kondisi ekologis sungai.

3.4 Perubahan Hulu–Hilir dan Implikasi Lingkungan

Perubahan hulu–hilir menunjukkan pola yang konsisten pada beberapa parameter, yaitu peningkatan TSS, kekeruhan, BOD, COD, dan Fe serta penurunan TDS dan DO. Peningkatan tersebut dapat berkaitan dengan transportasi material tersuspensi, masukan lokal, limpasan, resuspensi sedimen, pengenceran, dan proses geokimia. Penelitian pada sungai yang terdampak ASGM menunjukkan bahwa distribusi kontaminan dapat berubah secara spasial dan dipengaruhi lebih dari satu sumber (Soe et al., 2022; Basir et al., 2022).

Temuan Pondo juga perlu dibaca bersama bukti lokal. Hasriyanty et al. (2022) menunjukkan perubahan respons biologis menuju hilir di kawasan Poboya, sedangkan Okviyani et al. (2023) melaporkan variasi Hg pada beberapa lokasi sungai dan kolam pengendapan. Bukti tersebut menunjukkan bahwa tekanan lingkungan di kawasan Poboya memiliki dimensi spasial. Karena itu, perubahan hulu–hilir merupakan bukti adanya perbedaan kondisi kualitas air, bukan bukti kausal mengenai satu sumber pencemar tertentu.

Secara ekologis, hasil kolom air juga perlu dilengkapi dengan pengamatan sedimen dan biota. Penelitian pada kawasan ASGM menunjukkan bahwa logam dapat terakumulasi pada sedimen dan tersedia secara biologis pada organisme akuatik (Budianta, 2021; Tapfuma et al., 2025). Pendekatan multimedia dapat memberikan informasi yang lebih kuat dibandingkan pengukuran kolom air saja, terutama ketika beberapa unsur berada di bawah batas deteksi dalam air tetapi mungkin terakumulasi pada sedimen atau jaringan organisme.

4. KESIMPULAN

Kualitas air Sungai Pondo menunjukkan perubahan spasial yang terukur antara bagian hulu dan hilir. TSS meningkat dari 11,2 menjadi 21,0 mg/L, BOD dari 0,94 menjadi 1,73 mg/L, dan COD dari 2,02 menjadi 2,67 mg/L, sedangkan DO menurun dari 6,67 menjadi 6,47 mg/L. TDS menurun dari 162 menjadi 146 mg/L dan kekeruhan meningkat dari 3 menjadi 4 NTU. Pada kelompok logam berat, Cu, Cd, Pb, dan Zn tercatat tidak terdeteksi, sedangkan Fe meningkat dari 0,038 menjadi 0,047 mg/L. Skor STORET sebesar -2 diklasifikasikan sebagai kategori baik berdasarkan kriteria yang digunakan dalam penelitian ini. Secara ilmiah, penelitian ini memperluas informasi mengenai kualitas air Pondo dengan mengintegrasikan perubahan hulu–hilir, parameter fisikokimia, logam berat, dan penilaian STORET. Hasilnya menunjukkan bahwa status indeks yang baik tetap dapat disertai perubahan parameter tertentu. Penelitian berikutnya perlu memperluas cakupan spasial dan temporal, memasukkan sedimen serta biota akuatik, dan menerapkan dokumentasi analitik yang lengkap, termasuk LOD, LOQ, QA/QC, dan analisis sumber pencemar, untuk memperoleh gambaran kualitas DAS Pondo yang lebih komprehensif.

REFERENCES

- Agustiani, T., Sulistia, S., Sudaryanto, A., Kurniawan, B., Poku, P. A., Elwaleed, A., Kobayashi, J., Ishibashi, Y., Anan, Y., & Agusa, T. (2025). Mercury contamination and human health risk by artisanal small-scale gold mining (ASGM) activity in Gunung Pongkor, West Java, Indonesia. *Earth*, 6(3), 67. <https://doi.org/10.3390/earth6030067>
- Agustiani, T., Sulistia, S., Suciati, F., Sudaryanto, A., Amandita, F. Y., Efadeswarni, Handika, R., Poku, P. A., Boohene, M., Kobayashi, J., Ishibashi, Y., Morrow, J. S., Anan, Y., & Agusa, T. (2025). Comprehensive assessment of mercury contamination and health risks from artisanal and small-scale gold mining (ASGM) in Sukabumi, Indonesia. *Earth*, 6(3), 110. <https://doi.org/10.3390/earth6030110>
- Amidu, H., Annan, E., Kiti, J., & Tahiru, A. S. (2026). Water pollution and treatment challenges from artisanal gold mining in Ghana: A decade review (2014–2024). *Scientific African*, 32, e03413. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2026.e03413>

- Ardyantoro, R., Sunarto, S., & Setyono, P. (2025). Evaluasi status mutu Sungai Opak terdampak TPST Piyungan menggunakan metode biotilik dan komparasinya dengan metode STORET dan IP. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(2), 392–401. <https://doi.org/10.14710/jil.23.2.392-401>
- Basir, Kimijima, S., Sakakibara, M., Pateda, S. M., & Sera, K. (2022). Contamination level in geo-accumulation index of river sediments at artisanal and small-scale gold mining area in Gorontalo Province, Indonesia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(10), 6094. <https://doi.org/10.3390/ijerph19106094>
- Budianta, W. (2021). Heavy metal pollution and mobility of sediment in Tajum River caused by artisanal gold mining in Banyumas, Central Java, Indonesia. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(7), 8585–8593. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11157-5>
- Cheng, Y., Watari, T., Seccatore, J., Nakajima, K., Nansai, K., & Takaoka, M. (2023). A review of gold production, mercury consumption, and emission in artisanal and small-scale gold mining (ASGM). *Resources Policy*, 81, 103370. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103370>
- Fachrudin, S., & Rismawati, R. (2026). Assessment of anthropogenic impacts on river water quality in Palopo City Indonesia using physicochemical parameters and pollution indices. *Discover Environment*, 4, 214. <https://doi.org/10.1007/s44274-026-00721-4>
- Farouk, M. I. H. Z., Jamil, Z., & Latip, M. F. A. (2023). Towards online surface water quality monitoring technology: A review. *Environmental Research*, 238(1), 117147. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117147>
- Feisal, N. A. S., Kamaludin, N. H., Abdullah Sani, M. F., Awang Ahmad, D. K., Ahmad, M. A., Abdul Razak, N. F., & Tengku Ibrahim, T. N. B. (2023). Anthropogenic disturbance of aquatic biodiversity and water quality of an urban river in Penang, Malaysia. *Water Science and Engineering*, 16(3), 234–242. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.01.003>
- Fitriana, F., Yudianto, D., & Seo, Y. C. (2025). Analysis of Cikakembang River water quality using the Pollution Index, STORET, and CCME-WQI methods. *Jurnal Presipitasi*, 22(2), 485–496. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v22i2.485-496>
- Giri, S. (2021). Water quality prospective in twenty first century: Status of water quality in major river basins, contemporary strategies and impediments: A review. *Environmental Pollution*, 271, 116332. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116332>
- Hasriyanty, H., Anshary, A., Saleh, S., Yunus, M., & Pasaru, F. (2022). The diversity of aquatic insects surrounding the gold mining areas of Central Sulawesi and their relation with mercury levels and water quality. *Jurnal Entomologi Indonesia*, 19(3), 235–242. <https://doi.org/10.5994/jei.19.3.235>
- Huang, J., Zhang, Y., Bing, H., Peng, J., Dong, F., Gao, J., & Arhonditsis, G. B. (2021). Characterizing the river water quality in China: Recent progress and on-going challenges. *Water Research*, 201, 117309. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117309>
- Kim, S. (2025). Integration of positive matrix factorization and water quality models for pollution source identification and water quality enhancement in rivers. *Applied Water Science*, 15, 50. <https://doi.org/10.1007/s13201-025-02393-6>
- Malone, A., Figueroa, L., Wang, W., Smith, N. M., Ranville, J. F., Vuono, D. C., Alejo Zapata, F. D., Morales Paredes, L., Sharp, J. O., & Bellona, C. (2023). Transitional dynamics from mercury to cyanide-based processing in artisanal and small-scale gold mining: Social, economic, geochemical, and environmental considerations. *Science of the Total Environment*, 898, 165492. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165492>
- Maranata, D., Asmaranto, R., & Sudaryanti, S. (2024). Water quality identification and analysis of Saguling Reservoir, West Bandung Regency. *Jurnal Presipitasi*, 21(2), 433–445. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v21i2.433-445>
- Meutia, A. A., Lumowa, R., & Sakakibara, M. (2022). Indonesian artisanal and small-scale gold mining—A narrative literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7), 3955. <https://doi.org/10.3390/ijerph19073955>
- Mimba, M. E., Mbafor, P. U. T., Fils, S. C. N., & Nforba, M. T. (2023). Environmental impact of artisanal and small-scale gold mining in East Cameroon, Sub-Saharan Africa: An overview. *Ore and Energy Resource Geology*, 15, 100031. <https://doi.org/10.1016/j.oreoa.2023.100031>
- Nguyen, T. A., Le, D. C., Nguyen, T. N., Schmalz, B., & Tran, L. L. (2023). Influences of key factors on river water quality in urban and rural areas: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100424. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100424>
- Nunoo, F. K. E., et al. (2022). Assessment of water quality and pollution status of rivers in Ghana affected by small-scale mining activities. *Heliyon*, 8(12), e12323. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12323>
- Okviyani, N., Trimahyuni, E., & Ma'rif, A. A. F. (2023). The analysis of mercury concentrations of water in gold mining environment at Poboya, East Palu Subdistrict, Palu, Central Sulawesi Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1209(1), 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1209/1/012023>

- Onifade, O., Shamsuddin, N., Jin, J. L. Z., Lai, D. T. C., & Gödeke, S. H. (2024). Assessment of pollution status in Brunei River using water quality indices, Brunei Darussalam. *Water*, 16(17), 2439. <https://doi.org/10.3390/w16172439>
- Soe, P. S., Kyaw, W. T., Arizono, K., Ishibashi, Y., & Agusa, T. (2022). Mercury pollution from artisanal and small-scale gold mining in Myanmar and other Southeast Asian countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(10), 6290. <https://doi.org/10.3390/ijerph19106290>
- Tapfuma, D. T. A., Mwembe, D., & Naik, Y. (2025). Non-lethal method for the assessment of bioavailable metals in aquatic ecosystems surrounding ASGM activity. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 138, 103874. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2025.103874>