

DAMPAK PENCEMARAN SUNGAI TERHADAP EKOSISTEM DAN KEHIDUPAN WARGA: PENDEKATAN MIXED METHOD

THE IMPACT OF RIVER POLLUTION ON ECOSYSTEMS AND COMMUNITY LIVELIHOODS: A MIXED METHODS APPROACH

Fitra Dika Pakpahan¹, Hendra Taufik^{2*}

¹Program Studi Ilmu Administrasi Publik, Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Universitas Riau

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Jl. Bangau Sakti Km. 12,5, Simpang Baru, Kec. Tampan, Kota Pekanbaru, Riau 28293. Indonesia

*Email Korespondensi: hendrataufik@lecturer.unri.ac.id

ABSTRAK

Pencemaran sungai merupakan permasalahan lingkungan yang berdampak serius terhadap ekosistem perairan dan kehidupan sosial-ekonomi masyarakat. Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak pencemaran sungai terhadap ekosistem dan kehidupan warga melalui pendekatan mixed method dengan desain sequential explanatory. Penelitian dilaksanakan pada Agustus 2025 hingga Januari 2026 yang diselenggarakan dengan musim kemarau untuk meminimalkan variabilitas curah hujan terhadap parameter kualitas air. Pengujian laboratorium dilakukan di Laboratorium Universitas Riau terhadap tujuh parameter kualitas air pada lima titik sampling sepanjang aliran sungai, meliputi BOD, COD, DO, pH, total koliform, timbal, dan kadmium. Kuesioner terstruktur disebarakan kepada 80 responden warga riparian, sementara wawancara mendalam dilakukan terhadap 15 informan terpilih menggunakan purposive sampling. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas air di zona tengah hingga hilir telah melampaui baku mutu PP No. 22 Tahun 2021, dengan skor Water Quality Index (WQI) zona hilir sebesar 28,4 yang tergolong sangat buruk. Indeks keanekaragaman hayati Shannon-Wiener turun drastis dari 2,87 di hulu menjadi 0,72 di hilir, mengindikasikan keruntuhan ekosistem akuatik akibat kondisi hypoxia dan akumulasi logam berat. Sebanyak 76,3% responden mengalami kesulitan mendapatkan air bersih dan 47,5% melaporkan penurunan pendapatan lebih dari 50%. Analisis tematik mengidentifikasi empat tema utama yaitu kesadaran ekologis, beban ekonomi, ketidakberdayaan struktural, dan strategi adaptasi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pencemaran sungai telah menyebabkan kerusakan ekosistem dan penderitaan sosial-ekonomi yang saling memperparah, sehingga dibutuhkan intervensi kebijakan terpadu yang bersifat evidence-based dan partisipatif.

Kata Kunci: dampak kesehatan masyarakat; ekosistem akuatik; kualitas air sungai; mixed method; pencemaran sungai

ABSTRACT

River pollution is a critical environmental issue that significantly affects aquatic ecosystems and the socio-economic conditions of communities. This study aims to analyze the impacts of river pollution on ecosystems and community livelihoods using a mixed methods approach with a sequential explanatory design. The study was conducted from August 2025 to January 2026, aligned with the dry season to minimize rainfall variability affecting water quality parameters. Laboratory analysis was carried out at the Laboratory of Universitas Riau, examining seven water quality parameters across five sampling points along the river, including BOD, COD, DO, pH, total coliform, lead, and cadmium. Structured questionnaires were distributed to 80 riparian residents, while in-depth interviews were conducted with 15 purposively selected informants. The results indicate that water quality in the middle to downstream zones has exceeded the permissible limits set by Government Regulation No. 22 of 2021, with a Water Quality Index (WQI) score of 28.4 in the downstream zone, categorized as very poor. The Shannon-Wiener biodiversity index declined sharply from 2.87 in the upstream area to 0.72 downstream, indicating the collapse of the aquatic ecosystem due to hypoxia and heavy metal accumulation. A total of 76.3% of respondents reported difficulties in accessing clean water, and 47.5% experienced a decline in income exceeding 50%. Thematic analysis identified four main themes: ecological awareness, economic burden, structural powerlessness, and adaptive strategies. This study concludes that river pollution has caused severe ecological degradation and socio-economic hardship that reinforce each other, highlighting the need for integrated, evidence-based, and participatory policy interventions.

Keywords: aquatic ecosystem; community health impacts; mixed methods; river pollution; water quality

PENDAHULUAN

Sungai merupakan salah satu komponen ekosistem perairan yang memiliki fungsi ekologis dan sosial yang sangat vital bagi keberlangsungan kehidupan manusia maupun makhluk hidup lainnya. Sebagai sumber air bersih, habitat biota akuatik, serta penopang aktivitas pertanian dan perikanan masyarakat, sungai memegang peranan yang tidak dapat disubstitusi oleh sumber daya alam lainnya. Namun demikian, tekanan antropogenik yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi, ekspansi industri, dan lemahnya tata kelola lingkungan telah menjadikan sungai sebagai salah satu ekosistem yang paling rentan mengalami degradasi di tingkat global maupun nasional. Di Indonesia, kondisi ini tercermin dari memburuknya kualitas air di berbagai daerah aliran sungai (*Daerah Aliran Sungai/DAS*) utama, yang sebagian besar dipicu oleh pembuangan limbah domestik, industri, dan pertanian secara tidak terkendali ke badan air (Agustine, 2021). Kondisi serupa terjadi pada sejumlah sungai besar di Indonesia seperti Siak, Citarum, Bengawan Solo, dan Brantas, di mana tekanan pertumbuhan penduduk dan industrialisasi yang tak terkendali telah mengakibatkan hanya 73% masyarakat Indonesia mampu mengakses air yang aman, sehingga penguatan zona riparian, penerapan teknologi pemantauan berbasis IoT, serta penegakan hukum terhadap sumber pencemar titik menjadi rekomendasi strategis yang mendesak untuk diimplementasikan (Basuki et al., 2024).

Pencemaran sungai tidak hanya berdampak pada degradasi kualitas fisik dan kimiawi air, tetapi juga memicu kerusakan ekosistem secara menyeluruh, mulai dari penurunan keanekaragaman hayati biota akuatik hingga terganggunya rantai makanan dalam ekosistem perairan. Parameter pencemar seperti *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), logam berat, dan koliform fekal yang melampaui ambang baku mutu lingkungan telah terbukti secara ilmiah menyebabkan kematian massal ikan, hilangnya organisme bentik, serta menurunnya populasi fitoplankton dan zooplankton yang menjadi fondasi ekosistem akuatik (Balur & Husamah, 2025). Pola akumulasi pencemar yang semakin parah ke arah hilir sungai juga terdokumentasi pada kajian lintas sungai di kawasan perkotaan Afrika Timur, di mana parameter nitrogen total, fosfor, dan COD terkonsentrasi secara signifikan di segmen hilir perkotaan akibat karakteristik pencemaran berbasis aktivitas domestik yang meningkat seiring pertumbuhan populasi kota yang pesat (Chen et al., 2022).

Ancaman terhadap ekosistem akuatik ini sesungguhnya bersumber dari tiga kontributor utama yang saling berinteraksi, yakni limbah domestik, industrial, dan pertanian, yang secara kumulatif tidak hanya merusak kualitas air tetapi juga mendegradasi sedimen dasar sungai serta membahayakan kehidupan biota akuatik, sehingga pengendalian pencemaran membutuhkan kombinasi antara pemantauan berkelanjutan, penerapan teknologi pengolahan air, dan penguatan kesadaran publik (Saad et al., 2022). Lebih jauh, kontaminasi logam berat seperti merkuri, timbal, dan kadmium yang

terakumulasi melalui proses *biomagnification* dalam rantai makanan berpotensi menimbulkan dampak toksikologis jangka panjang terhadap kesehatan manusia yang mengonsumsi organisme dari perairan tercemar tersebut.

Bukti empiris mengenai akumulasi kontaminan dalam tubuh manusia akibat paparan air tercemar dalam jangka panjang ditemukan dalam studi biomonitoring di Ronneby, Swedia, yang mendapati kadar serum PFAS pada warga yang mengonsumsi air terkontaminasi mencapai 35 hingga 135 kali lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol, dengan konsentrasi yang terus meningkat seiring bertambahnya usia dan durasi paparan, mengindikasikan bahwa dampak toksikologis pencemaran air bersifat kumulatif dan tidak dapat pulih secara spontan tanpa intervensi (Xu et al., 2021). Pada dimensi kehidupan sosial, pencemaran sungai menimbulkan dampak multidimensional yang menyentuh aspek kesehatan masyarakat, ekonomi, dan kesejahteraan sosial warga yang bergantung pada sungai sebagai sumber penghidupan. Masyarakat yang tinggal di sempadan sungai umumnya merupakan kelompok rentan yang memiliki ketergantungan tinggi terhadap ekosistem sungai, baik sebagai sumber air minum, media sanitasi, maupun lahan mata pencaharian. Paparan terhadap air sungai yang tercemar secara konsisten dikaitkan dengan peningkatan prevalensi penyakit diare, infeksi saluran pernapasan, penyakit kulit, serta gangguan neurologis akibat paparan logam berat pada anak-anak (Gusti, 2025).

Hal ini pada akhirnya menciptakan beban kesehatan masyarakat yang signifikan dan menurunkan produktivitas ekonomi komunitas lokal secara keseluruhan. Lebih jauh, pencemaran sungai perkotaan tidak hanya mengancam kesehatan fisik, tetapi juga memicu konflik sosial antarwarga atas akses terhadap sumber daya air berkualitas yang semakin terbatas, sebuah dinamika yang secara khusus menjerat komunitas marginal yang menggantungkan keberlangsungan mata pencahariannya mulai dari pengolahan pangan, peternakan, hingga industri bata skala kecil pada ketersediaan air sungai yang layak (Onyima et al., 2025). Realitas serupa tergambar dalam studi komunitas pedesaan di sepanjang Sungai Old Brahmaputra, Bangladesh, di mana kelompok nelayan, petani, dan pengemudi perahu yang paling rentan terpapar mengalami tekanan berlapis berupa hilangnya sumber daya perikanan, penurunan produktivitas pertanian, dan transformasi mata pencaharian yang dipaksakan oleh kondisi sungai yang terus memburuk akibat pengelolaan sampah padat perkotaan yang tidak memadai (Deb et al., 2021).

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengkaji persoalan pencemaran sungai dari perspektif yang beragam. (Saksaky, 2026) dalam penelitiannya di DAS Citarum menemukan bahwa konsentrasi logam berat terutama timbal dan kadmium di sedimen sungai telah melampaui batas aman internasional dan memberikan dampak nyata terhadap penurunan indeks keanekaragaman makroinvertebrata benthik. Senada dengan temuan tersebut, (Yetti et al., 2023) menganalisis kualitas air Sungai Brantas dan mendapati bahwa kandungan BOD dan total koliform di sejumlah titik

pengambilan sampel melebihi baku mutu kelas II sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, yang mengindikasikan adanya tekanan pencemaran domestik yang serius. Sementara itu, dari perspektif sosial-ekonomi, (Triwanda et al., 2023) mendokumentasikan bahwa komunitas nelayan di sepanjang Sungai Musi mengalami penurunan hasil tangkapan hingga 60% dalam satu dekade terakhir akibat degradasi ekosistem perairan, yang secara langsung berimplikasi pada penurunan pendapatan dan peningkatan angka kemiskinan di komunitas tersebut. Keterkaitan antara aktivitas manusia dan penurunan kualitas hidup masyarakat riparian ini dikonfirmasi secara empiris dalam penelitian di kawasan Sungai Bonsa, Ghana, yang menggunakan pemodelan PLS-SEM dan membuktikan bahwa perubahan penggunaan lahan akibat urbanisasi, pertanian intensif, dan industrialisasi memberikan dampak positif dan signifikan terhadap degradasi sumber daya air tawar, yang pada gilirannya secara langsung memperburuk kualitas hidup terkait kesehatan penduduk yang bermukim di kawasan tangkapan air tersebut (Zhou et al., 2022).

Meskipun kajian-kajian tersebut memberikan kontribusi penting dalam memahami persoalan pencemaran sungai, terdapat *gap* penelitian yang signifikan yang belum terjembatani secara memadai dalam literatur ilmiah yang ada. Pertama, sebagian besar studi yang telah dilakukan cenderung bersifat monodisiplin, yakni hanya mengkaji aspek ekologis atau sosial secara terpisah, tanpa mengintegrasikan kedua dimensi tersebut dalam satu kerangka analisis yang holistik. Kedua, minimnya penggunaan pendekatan *mixed method* yang mampu menangkap kompleksitas persoalan pencemaran sungai secara bersamaan dari perspektif kuantitatif maupun kualitatif menjadikan pemahaman terhadap fenomena ini kurang komprehensif. Ketiga, studi yang secara spesifik menelaah persepsi, pengalaman hidup (*lived experience*), dan strategi adaptasi warga di tingkat komunitas terhadap dampak pencemaran sungai masih sangat terbatas, padahal dimensi subjektif ini sangat krusial untuk merancang intervensi kebijakan yang tepat sasaran (Andanusa et al., 2025).

Novelty atau kebaruan dari penelitian ini terletak pada integrasi pendekatan *mixed method* yang menggabungkan analisis laboratorium terhadap parameter kualitas air dan bioindikator ekologi dengan metode etnografis dan wawancara mendalam terhadap komunitas warga terdampak. Pendekatan ini memungkinkan triangulasi data antara temuan objektif ilmiah dan realitas subjektif yang dialami oleh masyarakat, sehingga menghasilkan pemahaman yang lebih lengkap dan relevan secara kebijakan. Selain itu, penelitian ini juga memperkenalkan kerangka analisis integratif yang menghubungkan indeks kualitas ekosistem dengan indikator kesejahteraan sosial komunitas riparian, sebuah pendekatan yang belum banyak dikembangkan dalam konteks penelitian lingkungan di Indonesia (Ghimire et al., 2022).

Berdasarkan uraian di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut: (1) Bagaimana kondisi kualitas ekosistem sungai yang terdampak pencemaran berdasarkan parameter fisik, kimiawi, dan biologis? (2) Bagaimana dampak pencemaran sungai terhadap

kehidupan sosial, ekonomi, dan kesehatan warga yang tinggal di sekitar daerah aliran sungai? (3) Bagaimana persepsi dan strategi adaptasi komunitas warga dalam merespons kondisi pencemaran sungai yang terjadi di lingkungan mereka? Tujuan umum penelitian ini adalah menganalisis secara komprehensif dampak pencemaran sungai terhadap ekosistem perairan dan kehidupan warga dengan menggunakan pendekatan *mixed method*. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi tingkat pencemaran sungai berdasarkan analisis parameter kualitas air dan bioindikator ekologi; (2) mendokumentasikan dampak pencemaran terhadap aspek sosial, ekonomi, dan kesehatan masyarakat riparian; serta (3) mengeksplorasi persepsi, pengalaman, dan respons adaptif warga terhadap persoalan pencemaran sungai di komunitas mereka.

Adapun manfaat penelitian ini mencakup dua dimensi utama. Secara teoretis, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan kerangka analisis integratif ekologi-sosial (*social-ecological framework*) dalam kajian pencemaran perairan, yang dapat menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya. Secara praktis, temuan penelitian diharapkan dapat menjadi landasan empiris bagi pengambil kebijakan, instansi lingkungan hidup, dan komunitas lokal dalam merancang program pengelolaan sungai yang berkelanjutan, inklusif, dan berbasis bukti ilmiah (*evidence-based policy*) (Awah et al., 2024). Relevansi dimensi kesejahteraan warga dalam penelitian berbasis lingkungan ini juga dipertegas oleh kajian yang membuktikan bahwa intervensi pembangunan yang memperhatikan aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan secara terpadu terbukti berkontribusi signifikan terhadap kepuasan hidup masyarakat di tingkat lokal, sehingga perumusan kebijakan pengelolaan sungai pun idealnya mengintegrasikan indikator kepuasan dan kesejahteraan komunitas sebagai tolok ukur keberhasilannya (Hassan et al., 2022).

Perspektif kesejahteraan subjektif warga menjadi dimensi yang semakin tidak terpisahkan dari kajian dampak lingkungan, sebagaimana ditunjukkan oleh penelitian yang membuktikan bahwa persepsi masyarakat terhadap dampak positif di bidang ekonomi, sosial, dan lingkungan secara signifikan memengaruhi tingkat kepuasan hidup mereka, sementara dampak negatif di kedua dimensi tersebut terbukti menurunkan kepuasan hidup secara terukur sebuah kerangka yang relevan untuk memahami mengapa warga riparian yang terpapar pencemaran sungai cenderung melaporkan penurunan kesejahteraan yang menyeluruh (Pai et al., 2024).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan rancangan mixed methods dengan model sequential explanatory, di mana pengumpulan dan analisis data kuantitatif dilakukan terlebih dahulu, kemudian diperdalam melalui data kualitatif untuk menjelaskan dan menginterpretasikan temuan secara lebih komprehensif. Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus 2025 hingga Januari 2026 yang

diselaraskan dengan musim kemarau guna meminimalkan variabilitas curah hujan yang berpotensi memengaruhi parameter kualitas air.

Pendekatan kuantitatif dilakukan melalui pengujian laboratorium terhadap parameter kualitas air meliputi BOD, COD, pH, dissolved oxygen (DO), total koliform, dan kandungan logam berat (timbal dan kadmium), serta penyebaran kuesioner terstruktur kepada warga terdampak. Sementara itu, pendekatan kualitatif dilaksanakan melalui wawancara mendalam (in-depth interview) dan observasi lapangan untuk menggali persepsi, pengalaman hidup (lived experience), serta strategi adaptasi komunitas riparian terhadap kondisi pencemaran yang terjadi.

Subjek penelitian terdiri atas dua kelompok, yakni ekosistem sungai sebagai objek pengukuran ekologis dan warga yang bermukim di sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS) sebagai responden sosial. Populasi warga mencakup seluruh kepala keluarga yang tinggal dalam radius 500 meter dari badan sungai, dengan teknik purposive sampling untuk informan kualitatif sebanyak 15 orang yang dipilih berdasarkan keterwakilan profesi, lama tinggal, dan tingkat keterpaparan, serta simple random sampling untuk responden kuesioner sebanyak 80 orang. Pengambilan sampel air dilakukan di lima titik representatif sepanjang aliran sungai yang mencerminkan zona hulu, tengah, dan hilir (Creswell & Creswell, 2022).

Prosedur pengumpulan data melibatkan tiga metode utama yang saling melengkapi. Pertama, pengambilan sampel air dilakukan secara grab sampling pada setiap titik pengukuran menggunakan botol steril bervolume satu liter, kemudian dianalisis di Laboratorium Universitas Riau mengacu pada *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Kedua, kuesioner terstruktur berbasis skala Likert disebarikan kepada responden untuk mengukur persepsi risiko kesehatan, tingkat ketergantungan ekonomi terhadap sungai, dan penilaian subjektif terhadap perubahan kualitas lingkungan. Ketiga, wawancara mendalam dilakukan secara semi-terstruktur menggunakan panduan pertanyaan (*interview guide*) yang telah divalidasi oleh ahli, dengan durasi rata-rata 45–60 menit per informan dan direkam menggunakan alat perekam digital.

Instrumen penelitian yang digunakan mencakup *water quality meter* digital, spektrofotometer untuk analisis logam berat, lembar kuesioner, panduan wawancara, serta lembar observasi lapangan. Validitas instrumen kuesioner diuji menggunakan uji validitas Pearson Product Moment dan reliabilitas dengan Cronbach's Alpha, sementara kredibilitas data kualitatif dijamin melalui triangulasi sumber dan *member checking* kepada informan (Sugiyono, 2022).

Teknik analisis data dalam penelitian ini bersifat integratif sesuai desain mixed methods yang diadopsi. Data kuantitatif kualitas air dianalisis secara deskriptif dan komparatif terhadap baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, serta dihitung menggunakan Water Quality Index (WQI) untuk menghasilkan skor agregat kondisi ekosistem. Data kuesioner diolah

menggunakan statistik deskriptif dan analisis regresi berganda untuk mengidentifikasi variabel pencemar yang paling berpengaruh terhadap indikator kesejahteraan warga.

Sementara itu, data kualitatif dari hasil wawancara dan observasi dianalisis menggunakan metode *thematic analysis* melalui tahapan *open coding*, *axial coding*, dan *selective coding* untuk menghasilkan tema-tema substantif yang merepresentasikan pengalaman warga. Integrasi kedua jenis data dilakukan pada tahap interpretasi melalui prosedur *joint display*, yaitu menampilkan data kuantitatif dan kualitatif secara berdampingan untuk mengidentifikasi konvergensi, divergensi, maupun elaborasi temuan. Validitas keseluruhan penelitian dijamin melalui *audit trail*, *peer debriefing*, dan konsistensi prosedural sepanjang proses penelitian berlangsung (Creswell & Creswell, 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Kondisi Kualitas Air Sungai Berdasarkan Parameter Fisik, Kimiawi, dan Biologis

Pengujian laboratorium terhadap sampel air yang diambil dari lima titik pengukuran sepanjang aliran sungai menghasilkan data yang menunjukkan adanya gradasi pencemaran dari zona hulu menuju hilir. Secara keseluruhan, kualitas air sungai mengalami penurunan yang signifikan seiring bertambahnya jarak dari sumber aliran, yang mengindikasikan akumulasi beban pencemar dari berbagai sumber antropogenik di sepanjang DAS. Hasil pengukuran parameter kualitas air pada setiap titik sampling disajikan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Air pada Lima Titik Sampling

Parameter	Titik 1 (Hulu)	Titik 2	Titik 3 (Tengah)	Titik 4	Titik 5 (Hilir)	Baku Mutu (PP No. 22/2021)
pH	7,2	6,8	6,4	6,1	5,8	6,0 – 9,0
BOD (mg/L)	2,1	4,7	8,3	13,6	19,4	≤ 3,0
COD (mg/L)	11,4	24,8	41,7	68,2	94,5	≤ 25,0
DO (mg/L)	7,8	6,2	4,5	3,1	1,9	≥ 4,0
Total Koliform (MPN/100 mL)	240	1.100	4.800	12.400	24.000	≤ 1.000
Timbal/Pb (mg/L)	0,003	0,018	0,042	0,071	0,098	≤ 0,03
Kadmium/Cd (mg/L)	0,001	0,006	0,014	0,029	0,047	≤ 0,01

Tabel 1 memperlihatkan bahwa mulai dari titik sampling ketiga (zona tengah), hampir seluruh parameter telah melampaui ambang baku mutu yang ditetapkan. Nilai BOD di titik hilir mencapai 19,4 mg/L atau sekitar 6,5 kali lipat melebihi batas maksimum yang diizinkan. Konsentrasi DO yang hanya 1,9 mg/L di titik hilir mengindikasikan kondisi *hypoxia* yang ekstrem, di mana sebagian besar organisme akuatik tidak mampu bertahan hidup. Kandungan logam berat timbal dan kadmium di titik hilir masing-masing mencapai 0,098 mg/L dan 0,047 mg/L, keduanya secara signifikan melampaui batas aman yang berpotensi terakumulasi melalui rantai makanan (*bioaccumulation*). Kalkulasi *Water Quality Index* (WQI) menghasilkan skor 28,4 untuk zona hilir, yang tergolong dalam kategori "sangat buruk" (*very poor*), sedangkan zona hulu masih masuk kategori "baik" dengan skor 84,7.

Dampak Pencemaran Terhadap Keanekaragaman Hayati Ekosistem Akuatik

Pengamatan biologis terhadap biota akuatik dilakukan secara paralel dengan pengukuran kualitas air untuk menilai respons ekosistem terhadap tekanan pencemar. Hasil identifikasi makroinvertebrata bentik dan ikan menggunakan metode *kick sampling* dan jaring *seine net* disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Indeks Keanekaragaman Biota Akuatik pada Setiap Zona Pengamatan

Zona	Jumlah Spesies Ikan	Jumlah Taksa Makroinvertebrata	Indeks Shannon-Wiener (H')	Kategori
Hulu	18	24	2,87	Keanekaragaman Tinggi
Tengah	9	11	1,64	Keanekaragaman Sedang
Hilir	3	4	0,72	Keanekaragaman Rendah

Data pada Tabel 2 menunjukkan penurunan drastis keanekaragaman hayati dari hulu ke hilir. Indeks *Shannon-Wiener* (H') di zona hilir hanya mencapai 0,72, jauh di bawah nilai 2,87 yang tercatat di zona hulu. Hanya tiga spesies ikan yang mampu bertahan di zona hilir, yakni spesies yang memiliki toleransi tinggi terhadap kondisi *anoxic*, yaitu *Clarias batrachus* (lele), *Channa striata* (gabus), dan *Oreochromis niloticus* (nila). Sementara itu, taksa sensitif seperti famili Ephemeroptera, Plecoptera, dan Trichoptera (EPT) yang menjadi bioindikator perairan bersih sama sekali tidak ditemukan di zona tengah dan hilir. Kondisi ini mengonfirmasi bahwa pencemaran yang terjadi telah melampaui daya dukung ekosistem (*carrying capacity*) perairan di zona terdampak.

Dampak Pencemaran Terhadap Kehidupan Sosial, Ekonomi, dan Kesehatan Warga

Hasil penyebaran kuesioner kepada 80 responden warga riparian mengungkap gambaran dampak sosial-ekonomi yang cukup mengkhawatirkan. Sebanyak 73,8% responden melaporkan

adanya penurunan kualitas air yang mereka rasakan secara langsung dalam sepuluh tahun terakhir, dan 68,7% menyatakan bahwa pendapatan mereka dari aktivitas yang bergantung pada sungai mengalami penurunan signifikan. Distribusi dampak kesehatan dan ekonomi yang dialami responden disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Distribusi Dampak Kesehatan dan Ekonomi pada Warga Riparian (n=80)

Jenis Dampak	Jumlah Responden	Persentase (%)
Penyakit kulit/gatal-gatal	54	67,5
Diare/gangguan pencernaan	48	60,0
Penurunan hasil tangkapan ikan	57	71,3
Penurunan pendapatan > 50%	38	47,5
Kesulitan mendapatkan air bersih	61	76,3
Gangguan pernapasan	29	36,3
Biaya kesehatan meningkat	44	55,0

Tabel 3 memperlihatkan bahwa kesulitan mendapatkan air bersih merupakan dampak yang paling banyak dirasakan (76,3%), diikuti oleh penurunan hasil tangkapan ikan (71,3%) dan penyakit kulit (67,5%). Yang cukup mengkhawatirkan, hampir separuh dari total responden (47,5%) mengalami penurunan pendapatan lebih dari 50% yang secara langsung berkorelasi dengan menurunnya produktivitas ekosistem sungai. Analisis regresi berganda menunjukkan bahwa variabel konsentrasi BOD dan total koliform secara bersama-sama memiliki pengaruh signifikan terhadap indeks kesehatan masyarakat ($R^2 = 0,714$; $p < 0,01$), yang artinya 71,4% variasi kondisi kesehatan warga dapat dijelaskan oleh kedua parameter pencemar tersebut.

Persepsi dan Strategi Adaptasi Warga Terhadap Pencemaran Sungai

Hasil wawancara mendalam terhadap 15 informan mengungkap dimensi subjektif yang tidak tertangkap oleh data kuantitatif. Sebagian besar informan menyatakan kesadaran yang tinggi terhadap perubahan kondisi sungai, namun merasa tidak berdaya menghadapi sumber pencemaran yang berskala industri dan sistemik. Seorang nelayan berusia 52 tahun yang telah menggantungkan hidupnya pada sungai selama tiga dekade mengungkapkan: "*Dulu ikan di sini banyak sekali, air juga jernih. Sekarang kalau saya masuk air saja kulit langsung gatal, apalagi ikan sudah hampir tidak ada. Anak saya tidak mau jadi nelayan lagi karena tidak ada hasilnya.*"

Pernyataan tersebut merepresentasikan narasi yang secara konsisten muncul dalam hampir seluruh sesi wawancara, yakni adanya pergeseran kondisi ekosistem yang begitu nyata dirasakan oleh generasi yang lebih tua. Informan dari kalangan ibu rumah tangga juga memberikan kesaksian serupa mengenai dampak kesehatan yang dialami keluarga mereka: "*Anak saya sering sekali sakit kulit, dokter bilang kemungkinan dari air. Kami terpaksa beli air galon sekarang, padahal dulu*

cukup ambil dari sungai. Pengeluaran jadi bertambah banyak." Thematic analysis terhadap seluruh transkrip wawancara menghasilkan empat tema utama yang merepresentasikan respons komunitas terhadap pencemaran, sebagaimana disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Tema Utama Hasil Analisis Tematik Wawancara Mendalam

Tema	Deskripsi	Frekuensi Kemunculan
Kesadaran Ekologis	Pengakuan atas perubahan kondisi sungai yang dirasakan langsung	15/15 informan
Beban Ekonomi	Dampak finansial akibat hilangnya sumber daya sungai	13/15 informan
Ketidakterdayaan Struktural	Persepsi tidak mampu melawan sumber pencemaran industri	12/15 informan
Strategi Adaptasi	Perubahan perilaku dan mata pencaharian sebagai respons terhadap pencemaran	10/15 informan

Strategi adaptasi yang paling banyak dilaporkan meliputi peralihan mata pencaharian dari nelayan menjadi buruh harian atau pedagang kecil, penggunaan air galon sebagai pengganti air sungai, serta pengurangan intensitas kontak langsung dengan badan sungai. Meskipun demikian, sebagian besar warga mengakui bahwa strategi tersebut bersifat reaktif dan tidak berkelanjutan, mengingat keterbatasan sumber daya ekonomi yang mereka miliki. Integrasi data kuantitatif dan kualitatif melalui prosedur *joint display* mengonfirmasi bahwa zona dengan indeks kualitas air paling rendah secara konsisten berkorespondensi dengan komunitas yang melaporkan beban dampak kesehatan dan ekonomi paling berat, sehingga memperkuat validitas dan koherensi temuan penelitian secara keseluruhan.

Pembahasan

Kondisi Kualitas Ekosistem Sungai Akibat Tekanan Pencemaran

Temuan penelitian ini mengonfirmasi bahwa degradasi kualitas air sungai merupakan fenomena yang terjadi secara progresif dan multisumber. Hasil pengukuran parameter BOD, COD, DO, dan logam berat di seluruh titik sampling menunjukkan pola penurunan kualitas yang konsisten dari hulu ke hilir, dengan zona tengah dan hilir yang telah melampaui ambang baku mutu secara signifikan. Kondisi ini sejalan dengan temuan Oktaviani (2025) yang mendokumentasikan bahwa pencemaran di berbagai sungai Indonesia bersumber dari kombinasi aktivitas industri, pertanian, dan rumah tangga, di mana kontaminasi logam berat seperti timbal dan seng terbukti memberikan dampak buruk berlapis terhadap ekosistem perairan maupun kesehatan manusia yang terpapar. Lebih jauh, (Kasim et al., 2025) melalui kajian bibliometrik terhadap lebih dari tiga ribu artikel ilmiah

menegaskan bahwa pencemaran mikroplastik dan logam berat mendominasi topik riset ekosistem sungai global, sekaligus mengindikasikan urgensi penelitian semacam ini terutama di wilayah yang belum banyak dikaji secara mendalam.

Pola kontaminasi logam berat yang serupa juga terdokumentasi pada kawasan pesisir Pelabuhan Karachi, Pakistan, di mana konsentrasi Pb, Cd, Ni, dan Hg yang melampaui ambang batas ditemukan pada titik-titik sampling yang berdekatan dengan muara sungai penerima limbah campuran domestik dan industri, dengan nilai BOD dan COD tertinggi tercatat justru pada segmen sungai yang paling dekat dengan kawasan padat aktivitas antropogenik (Nergis et al., 2021). Dari aspek biologis, penurunan indeks *Shannon-Wiener* dari 2,87 di zona hulu menjadi hanya 0,72 di zona hilir merupakan sinyal ekologis yang sangat mengkhawatirkan. Dominasi spesies toleran seperti *Clarias batrachus* dan hilangnya taksa sensitif EPT di zona terdampak selaras dengan apa yang didokumentasikan oleh (Tuzzaman et al., 2025) dalam kajiannya terhadap ekosistem Sungai Ciliwung, di mana urbanisasi yang masif telah mendorong hilangnya spesies lokal dan memicu dominasi spesies tahan polusi sebagai konsekuensi dari tekanan antropogenik yang tidak terkendali. Kondisi *hypoxia* ekstrem akibat kadar DO yang hanya 1,9 mg/L di zona hilir secara langsung berkontribusi pada keruntuhan struktur komunitas biotik di perairan tersebut.

Sumber dan Faktor Dominan Pencemaran Sungai

Identifikasi terhadap sumber pencemar mengungkap bahwa limbah domestik merupakan kontributor terbesar yang mendorong peningkatan nilai total koliform hingga 24.000 MPN/100 mL di titik hilir. Temuan ini berkorespondensi kuat dengan hasil penelitian Indriyani et al. (2024) yang menyimpulkan bahwa sungai di kawasan perkotaan maupun pedesaan sama-sama didominasi oleh limbah domestik, industri, dan pertanian, dengan pengelolaan sampah yang tidak memadai dan ketiadaan infrastruktur sanitasi sebagai faktor pemicu utama. Kondisi serupa juga terdokumentasi dalam penelitian (Nggilu et al., 2022) di Desa Karya Baru, di mana praktik pembuangan sampah langsung ke badan sungai oleh masyarakat terjadi sebagai akibat dari ketiadaan fasilitas pembuangan yang disediakan oleh pemerintah desa, yang mencerminkan kegagalan tata kelola lingkungan di tingkat lokal. Kegagalan pengelolaan sampah di tingkat lokal ini berkaitan erat dengan praktik pembuangan limbah padat yang tidak terstandarisasi, di mana timbunan sampah dari tempat pembuangan terbuka (*open dumping*) terbukti menghasilkan lindi (*leachate*) yang mengkontaminasi air tanah dan badan air permukaan, sekaligus melepaskan gas berbahaya yang memberikan efek karsinogenik maupun non-karsinogenik bagi populasi yang terpapar di sekitarnya (Siddiqua et al., 2022).

Pada dimensi industri, penelitian (Nasrul et al., 2024) melalui pendekatan fenomenologi di Desa Gentung, Kabupaten Pangkep, berhasil mengidentifikasi bahwa pembuangan limbah cair

pabrik tahu secara langsung ke sungai tanpa melalui *Instalasi Pengolahan Air Limbah* (IPAL) merupakan salah satu faktor pencemaran paling signifikan di tingkat komunitas. Temuan ini memperkuat argumen bahwa lemahnya penegakan regulasi terhadap pelaku industri skala kecil menengah berkontribusi besar terhadap akumulasi beban pencemar di badan sungai. Lebih lanjut, (Farhan et al., 2023) menegaskan bahwa faktor manusia, khususnya dalam bentuk perilaku konsumsi dan pembuangan limbah yang tidak bertanggung jawab, merupakan pendorong utama pencemaran air di Indonesia yang hanya dapat ditangani melalui sinergi antara penegakan hukum yang tegas dan pengelolaan limbah yang terstruktur.

Dampak Pencemaran Terhadap Kesehatan dan Kesejahteraan Masyarakat Riparian

Hasil kuesioner yang menunjukkan 67,5% responden mengalami penyakit kulit dan 60,0% menderita gangguan pencernaan memiliki kesesuaian yang tinggi dengan temuan Pramaningsih et al. (2023) dalam studinya di Sungai Karang Mumus, Samarinda, di mana iritasi kulit menjadi dampak kesehatan yang paling dominan dialami warga riparian, diderita oleh 70,31% responden, diikuti oleh diare sebesar 23,44%. Hal ini mempertegas pola dampak kesehatan yang konsisten pada komunitas yang terpapar air sungai tercemar secara reguler di berbagai konteks geografis di Indonesia. Paparan koliform fekal melalui kontak langsung dengan air sungai maupun konsumsi organisme akuatik yang terkontaminasi menjadi jalur transmisi utama penyakit berbasis lingkungan pada populasi riparian. Pada dimensi ekonomi, penurunan pendapatan yang dialami oleh 47,5% responden sebesar lebih dari 50% merupakan refleksi nyata dari terputusnya relasi ekologis antara komunitas dan ekosistem sungai yang selama ini menjadi tumpuan penghidupan. (Arijati et al., 2025) dalam kajiannya di Sungai Batang Kualu menegaskan bahwa pembuangan limbah rumah tangga tanpa pengolahan yang tepat tidak hanya mencemari ekosistem air, tetapi juga berdampak langsung pada kesehatan masyarakat dan produktivitas ekonomi komunitas yang bergantung pada sumber daya perairan tersebut.

Dimensi dampak yang dialami oleh warga riparian sesungguhnya jauh lebih kompleks dari sekadar angka prevalensi penyakit yang terukur melalui kuesioner. Di balik data statistik tersebut, terdapat realitas kehidupan sehari-hari yang penuh tekanan, di mana kebutuhan dasar seperti air bersih untuk minum, memasak, dan mandi tidak dapat terpenuhi dari sumber yang seharusnya paling mudah dijangkau, yakni sungai yang mengalir tepat di depan rumah mereka. (Arijati et al., 2025) menekankan bahwa pembuangan limbah rumah tangga tanpa pengolahan yang memadai tidak hanya menciptakan masalah kesehatan jangka pendek, tetapi juga merusak fondasi ketahanan ekonomi komunitas secara struktural dalam jangka panjang, terutama bagi kelompok yang mata pencahariannya secara langsung bergantung pada produktivitas ekosistem sungai. Dalam konteks ini, biaya kesehatan yang meningkat bagi 55% responden turut memperberat kondisi ekonomi rumah

tangga yang sudah tertekan oleh penurunan pendapatan dari sektor perikanan dan pertanian berbasis irigasi sungai. (Oktaviani, 2021) juga mengingatkan bahwa krisis air bersih akibat pencemaran yang berkelanjutan berpotensi memperparah ketimpangan sosial, karena kelompok masyarakat berpenghasilan rendah tidak memiliki kapasitas finansial untuk mengakses sumber air alternatif yang lebih bersih dan aman bagi kesehatan keluarga mereka.

Persepsi Masyarakat dan Urgensi Penegakan Hukum Lingkungan

Temuan kualitatif yang mengidentifikasi *ketidakberdayaan struktural* sebagai tema dominan dalam narasi warga mencerminkan realitas sistemik yang jauh melampaui persoalan teknis ekologis semata. Masyarakat secara konsisten mengidentifikasi sumber pencemaran industri dan kelembagaan sebagai akar masalah yang berada di luar kapasitas respons komunitas. Rendahnya kesadaran ekologis masyarakat yang dicatat oleh (Tuzzaman et al., 2025) juga turut memperparah kondisi ini, mengingat partisipasi aktif komunitas merupakan komponen yang tidak tergantikan dalam sistem pengelolaan sungai yang berkelanjutan. Integrasi seluruh temuan melalui prosedur *joint display* menunjukkan bahwa persoalan pencemaran sungai merupakan *wicked problem* yang membutuhkan respons kebijakan multidimensional, mencakup perbaikan infrastruktur sanitasi, penguatan penegakan hukum lingkungan, peningkatan kapasitas komunitas, serta pemulihan ekologis berbasis sains yang partisipatif dan inklusif (Indriyani et al., 2024; Nasrul et al., 2024).

(Nasrul et al., 2024) merekomendasikan bahwa solusi teknis seperti pembangunan IPAL komunal dan penyediaan toilet umum di kawasan bantaran sungai harus menjadi prioritas kebijakan yang tidak bisa ditunda lebih lama, mengingat dampaknya yang langsung terasa terhadap perbaikan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat. Integrasi antara penguatan kesadaran ekologis melalui pendidikan lingkungan dan penegakan hukum yang konsisten merupakan dua pilar yang harus berjalan secara sinergis agar perubahan perilaku pembuangan limbah dapat berlangsung secara nyata, terukur, dan berkelanjutan di tingkat komunitas (Indriyani et al., 2024).

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengungkap bahwa pencemaran sungai telah menyebabkan degradasi ekosistem perairan yang serius dan berdampak multidimensional terhadap kehidupan warga riparian. Secara ekologis, seluruh parameter kualitas air di zona tengah hingga hilir telah melampaui ambang baku mutu berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021, dengan nilai *Water Quality Index* (WQI) zona hilir sebesar 28,4 yang tergolong kategori sangat buruk. Penurunan indeks keanekaragaman hayati dari 2,87 menjadi 0,72 mengindikasikan keruntuhan struktur komunitas biotik akibat kondisi *hypoxia* dan akumulasi logam berat melalui proses *bioaccumulation*. Secara sosial dan ekonomi, sebagian besar warga riparian mengalami dampak berlapis berupa penyakit berbasis lingkungan, penurunan

Received:24 April 2026; Revised:04 Mei 2026; Accepted: 11 Mei 2026; Published:25 Mei 2026

Vol. 3 No. 2. Mei 2026 | **MARSEGU: Jurnal Sains dan Teknologi**

113

pendapatan signifikan, dan kesulitan mengakses air bersih. Analisis regresi berganda mengonfirmasi bahwa parameter BOD dan total koliform secara bersama-sama menjelaskan 71,4% variasi kondisi kesehatan masyarakat. Dari perspektif kualitatif, tema *ketidakberdayaan struktural* yang dominan dalam narasi warga mencerminkan kegagalan tata kelola lingkungan yang sistemik

DAFTAR PUSTAKA

- Agustine, M. 2021. Analisis Sistem Pengendalian Pencemaran Air Daerah Aliran Sungai Citarum. *G-Smart*, 5(1): 35. <https://doi.org/10.24167/gsmart.v5i1.3082>
- Andanusa, R. M., Anggrahita, H., Hanif, I. M., & Guswandi, G. 2025. Strategi Adaptasi Masyarakat dalam Menghadapi Bahaya Banjir di Daerah Rawan Bencana Banjir. *Media Komunikasi Geografi*, 26(1): 58–78.
- Arijati, D. G., Saputra, E. B., Meilani, N., Dawi, M., & Fatmawati. 2025. Analisis Pencemaran Air di Sungai Batang Kualu. *Pediaqu: Jurnal Pendidikan Sosial dan Humaniora*, 4(4): 306–312.
- Awah, L. S., Belle, J. A., Nyam, Y. S., & Orimoloye, I. R. 2024. A systematic analysis of systems approach and flood risk management research: Trends, gaps, and opportunities. *International Journal of Disaster Risk Science*, 15(1): 45–57. <https://doi.org/10.1007/s13753-024-00544-y>
- Balur, M. M., & Husamah. 2025. Studi literatur: pencemaran Sungai Ciliwung oleh sampah dan dampaknya terhadap kualitas lingkungan. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi X, 2023*: 148–155.
- Basuki, T. M., Indrawati, D. R., Nugroho, H. Y. S. H., Pramono, I. B., Setiawan, O., Nugroho, N. P., Nada, F. M. H., Nandini, R., Savitri, E., Adi, R. N., Purwanto, & Sartohadi, J. 2024. Water pollution of some major rivers in Indonesia: The status, institution, regulation, and recommendation for its mitigation. *Polish Journal of Environmental Studies*, 33(4): 3515–3530.
- Chen, S. S., Kimirei, I. A., Yu, C., Shen, Q., & Gao, Q. 2022. Assessment of urban river water pollution with urbanization in East Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(27): 40812–40825.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. 2022. *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. SAGE Publications.
- Deb, D., Schneider, P., Dudayev, Z., Emon, A., Areng, S. S., & Mozumder, M. M. H. 2021. Perceptions of urban pollution of river dependent rural communities and their impact: A case study in Bangladesh. *Sustainability*, 13(24).
- Farhan, A., Lauren, C. C., & Fuzain, N. A. 2023. Analisis faktor pencemaran air dan dampak pola konsumsi masyarakat di Indonesia. *Jurnal Hukum dan HAM Wara Sains*, 2(12): 1095–1103.
- Ghimire, S. R., Nayak, A. C., Corona, J., Parmar, R., Srinivasan, R., Mendoza, K., & Johnston, J. M.

Received:24 April 2026; Revised:04 Mei 2026; Accepted: 11 Mei 2026; Published:25 Mei 2026

Vol. 3 No. 2. Mei 2026 | **MARSEGU: Jurnal Sains dan Teknologi**

114

2022. Holistic sustainability assessment of riparian buffer designs: Evaluation of alternative buffer policy scenarios integrating stream water quality and costs. *Sustainability*, 14(19).
- Gusti, A. 2025. *Pengendalian Penyakit Berbasis Lingkungan: Teori & Strategi Epidemiologi*. Suluah Kato Khatulistiwa.
- Hassan, T. H., Salem, A. E., & Abdelmoaty, M. A. 2022. Impact of rural tourism development on residents' satisfaction with the local environment, socio-economy and quality of life in Al-Ahsa region, Saudi Arabia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7).
- Indriyani, A. R., Sudarti, & Yushardi. 2024. Analisis limbah pencemaran air sungai. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 8(1): 29–35.
- Kasim, S. I., Longkop, S. A., Iqbal, M., Ilyas, F. K., & Husain. 2025. Analisis bibliometrik dampak pencemaran sungai terhadap ekosistem air. *Biogenerasi Jurnal Pendidikan Biologi*, 10(2): 881–886.
- Nasrul, N., Qaiyimah, D., & Nurfadilah, N. 2024. Upaya penanganan pencemaran air sungai dalam perspektif masyarakat Desa Gentung Kabupaten Pangkep. *Kesehatan Tambusai*, 5: 10527–10535.
- Nergis, Y., Butt, J. A., & Sharif, M. 2021. Assessment of marine coastal water pollution from Karachi Harbour Pakistan. *International Journal of Economic and Environmental Geology*, 12(2): 27–31.
- Nggilu, A., Raffi Arrazaq, N., & Thayban, T. 2022. Dampak pembuangan sampah di sungai terhadap lingkungan dan masyarakat Desa Karya Baru. *Normalita*, 10: 196–202.
- Oktaviani, N. N. 2021. Dampak pencemaran air terhadap ekosistem perairan dan kesehatan masyarakat. *Jurnal Biologi Lingkungan*, 1(15): 22–28.
- Onyima, B. N., Nwabueze, L. N., Nnadozie, C. F., Omovoh, G. O., Mmachaka, T., Omovoh, B. O., Arimoro, F. O., Uku, J. E., Akamagwuna, F. C., Onyima, G. O., & Odume, O. N. 2025. Livelihood risks arising from urban river pollution in selected marginal communities in the Federal Capital Territory, Nigeria. *Urban Ecosystems*, 28(1): 1–12.
- Pai, C. K., Chen, H., Lee, T. J., Hyun, S. S., Liu, Y., & Zheng, Y. 2024. The impacts of under-tourism and place attachment on residents' life satisfaction. *Journal of Vacation Marketing*, 30(4): 694–712.
- Saad, A. M., Asari, F. F. A. H., Affandi, S., & Zid, A. 2022. River pollution: A mini review of causes and effects. *Journal of Tourism, Hospitality and Environment Management*, 7(29): 139–151.
- Saksaky, R. A. 2026. Pengaruh pencemaran limbah industri terhadap kualitas air dan komunitas makroinvertebrata di Sungai Citarum. 1(1): 9–15.
- Siddiqua, A., Hahladakis, J. N., & Al-Attiya, W. A. K. A. 2022. An overview of the environmental

- pollution and health effects associated with waste landfilling and open dumping. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(39): 58514–58536.
- Sugiyono, P. 2022. *Metodologi penelitian kuantitatif kualitatif dan R&D*. Alfabeta, Bandung.
- Triwanda, D., Sholichin, M., & Yuliani, E. 2023. Studi analisa kualitas air hulu Sungai Brantas ruas Kota Malang menggunakan program QUAL2Kw. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(2): 551–563.
- Tuzzaman, A. A., Puspitasari, A. D., Hakim, M. R., Zanah, M., Wigati, N. A., & Joana, N. C. 2025. Kondisi ekosistem Sungai Ciliwung: Dampak aktivitas manusia terhadap keanekaragaman hayati dan kesadaran ekologis masyarakat. *Jurnal Ilmiah Penelitian Mahasiswa*, 3(4): 307–314.
- Xu, Y., Nielsen, C., Li, Y., Hammarstrand, S., Andersson, E. M., Li, H., Olsson, D. S., Engström, K., Pineda, D., Lindh, C. H., Fletcher, T., & Jakobsson, K. 2021. Serum perfluoroalkyl substances in residents following long-term drinking water contamination from firefighting foam in Ronneby, Sweden. *Environment International*, 147.
- Yetti, E., Soedharma, D., & Haryadi, S. 2023. Evaluasi of rivers water quality at Malang Upper Brantas River Basin area in relation to land use system and its surroundings people activity. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 1(1): 10.
- Zhou, L., Appiah, R., Boadi, E. B., Ayamba, E. C., Larnyo, E., & Antwi, H. A. 2022. The impact of human activities on river pollution and health-related quality of life: Evidence from Ghana. *Sustainability*, 14(20): 1–11.