

PERAN SERANGGA AKUATIK SEBAGAI BIOINDIKATOR PENCEMARAN LINGKUNGAN PERAIRAN: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Ananda Siddiq^{1*)}, Dea Puspita²⁾, Putri Indah Sari³⁾, Jalilah Azizah Lubis⁴⁾

¹⁾²⁾³⁾ Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muhammadiyah Tapanuli Selatan, Padangsidimpuan, Sumatera Utara, Indonesia
*e-mail:siddiqananda20@gmail.com.

(Received 09 Juli 2026, Accepted 16 Juli 2026)

Abstract

This study aims to analyze the role of aquatic insects as bioindicators in assessing water pollution levels and aquatic environmental quality using a Systematic Literature Review (SLR) approach. The method follows the PRISMA guidelines, including identification, screening, eligibility, and inclusion stages of scientific articles obtained through a structured search query. Based on predefined inclusion and exclusion criteria, a total of 10 empirical research articles published between 2020 and 2026 were selected. The synthesis results indicate that Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera (EPT) groups are highly sensitive to pollution and represent good water quality conditions, whereas Diptera and Hemiptera are more tolerant of polluted environments. Environmental parameters such as dissolved oxygen (DO), pH, biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), and total suspended solids (TSS) significantly influence aquatic insect community structure. This study contributes to the advancement of environmental education and aquatic ecology by reinforcing biomonitoring approaches as a more integrative method for water quality assessment compared to conventional physicochemical analyses.

Keywords: *bioindicator, aquatic insects, water quality, water pollution, biomonitoring*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran serangga akuatik sebagai bioindikator dalam menilai tingkat pencemaran dan kualitas lingkungan perairan melalui pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR). Metode yang digunakan mengacu pada pedoman PRISMA yang meliputi tahapan identifikasi, *screening*, *eligibility*, dan *inclusion* terhadap artikel ilmiah yang diperoleh menggunakan *query* terstruktur. Berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, diperoleh 10 artikel penelitian empiris yang relevan dalam rentang tahun 2020–2026. Hasil sintesis menunjukkan bahwa kelompok *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, dan *Trichoptera* (EPT) memiliki sensitivitas tinggi terhadap pencemaran sehingga mencerminkan kondisi perairan yang baik, sedangkan kelompok *Diptera* dan *Hemiptera* cenderung toleran terhadap kondisi tercemar. Parameter lingkungan seperti *dissolved oxygen* (DO), pH, *biochemical oxygen demand* (BOD), *chemical oxygen demand* (COD), serta total *suspended solids* (TSS) terbukti berpengaruh signifikan terhadap struktur komunitas serangga akuatik. Kontribusi penelitian ini terletak pada penguatan pendekatan biomonitoring berbasis biota sebagai metode evaluasi kualitas air yang lebih komprehensif dibandingkan analisis fisik-kimia semata, sehingga mendukung pengembangan ilmu pengetahuan di bidang pendidikan lingkungan dan ekologi perairan.

Kata Kunci: *bioindikator, serangga akuatik, kualitas air, pencemaran perairan, biomonitoring*

PENDAHULUAN

Ekosistem perairan merupakan sistem ekologis yang kompleks dan dinamis yang berperan penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan serta keberlanjutan kehidupan. Dalam perspektif ekologi modern, kualitas ekosistem perairan tidak hanya diukur berdasarkan parameter fisik dan kimia, tetapi juga melalui konsep *ecological integrity*, yaitu kemampuan ekosistem untuk mempertahankan struktur, fungsi, dan proses ekologisnya secara alami. Namun, dalam beberapa dekade terakhir, peningkatan intensitas *anthropogenic stressors* seperti aktivitas industri, pertanian intensif, dan urbanisasi telah menyebabkan degradasi kualitas perairan secara signifikan. Tekanan ini mengakibatkan perubahan

komposisi komunitas biota akuatik serta menurunkan keanekaragaman hayati (Chakravarty & Gupta, 2021a; Li *et al.*, 2021; Taek, 2024).

Pendekatan konvensional dalam penilaian kualitas air yang berbasis parameter fisik-kimia, seperti *dissolved oxygen* (DO), *biochemical oxygen demand* (BOD), dan pH, memiliki keterbatasan karena hanya menggambarkan kondisi sesaat dan tidak mampu menangkap dampak kumulatif dari tekanan lingkungan. Dalam konteks ini, pendekatan *bioassessment framework* berbasis komunitas biota menjadi semakin penting karena mampu mengintegrasikan respons biologis terhadap tekanan lingkungan dalam jangka panjang. (Hering *et al.*, 2006) menegaskan bahwa penggunaan makroinvertebrata sebagai indikator biologis merupakan komponen utama dalam pengembangan sistem *bioassessment* yang komprehensif untuk mengevaluasi kondisi ekosistem perairan secara holistik.

Serangga akuatik sebagai bagian dari makroinvertebrata benthik telah banyak digunakan sebagai bioindikator karena sensitivitasnya terhadap perubahan kualitas lingkungan. Kelompok *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, dan *Trichoptera* (EPT) dikenal sebagai taksa yang sangat sensitif terhadap pencemaran dan umumnya ditemukan pada perairan dengan kualitas baik. Sebaliknya, kelompok toleran seperti *Diptera* (misalnya *Chironomidae*) cenderung mendominasi perairan yang mengalami tekanan lingkungan tinggi, terutama pada kondisi hipoksia dan peningkatan beban organik (Lu *et al.*, 2023; Nuraeni *et al.*, 2025; Pontarollo & Mendieta Muñoz, 2020). Temuan ini sejalan dengan studi global yang menunjukkan bahwa perubahan struktur komunitas makroinvertebrata merupakan indikator yang kuat terhadap degradasi kualitas air akibat tekanan antropogenik (Bonada *et al.*, 2006).

Meskipun demikian, hasil penelitian empiris terkait penggunaan serangga akuatik sebagai bioindikator masih menunjukkan variasi yang cukup signifikan, baik dalam hal parameter lingkungan yang digunakan, jenis indeks biotik yang diterapkan, maupun interpretasi terhadap tingkat pencemaran. Beberapa studi menekankan pentingnya parameter kimia seperti nutrisi dan *total suspended solids* (TSS), sementara studi lain menunjukkan bahwa faktor habitat dan heterogenitas lingkungan memiliki peran yang sama pentingnya dalam menentukan struktur komunitas biota. Selain itu, banyak penelitian masih bersifat lokal dan kontekstual sehingga sulit untuk digeneralisasikan dalam kerangka ekologi yang lebih luas.

Dalam konteks tersebut, terdapat kesenjangan penelitian yang signifikan berupa belum adanya sintesis sistematis yang mengintegrasikan berbagai temuan empiris mengenai peran serangga akuatik sebagai bioindikator dalam berbagai kondisi ekosistem perairan yang terpapar pencemaran. Padahal, sintesis tersebut penting untuk memperkuat kerangka konseptual biomonitoring serta mendukung pengembangan strategi pengelolaan kualitas air berbasis ekologi.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan *Systematic Literature Review* (SLR) guna mengevaluasi peran serangga akuatik sebagai bioindikator dalam menilai kualitas dan tingkat pencemaran perairan. Secara khusus, penelitian ini berfokus pada: (1) mengevaluasi efektivitas serangga akuatik dalam merepresentasikan kondisi *ecological integrity*, (2) mengidentifikasi parameter lingkungan utama yang memengaruhi struktur komunitasnya, serta (3) menganalisis hubungan antara komposisi serangga akuatik dengan tingkat pencemaran akibat *anthropogenic stressors*.

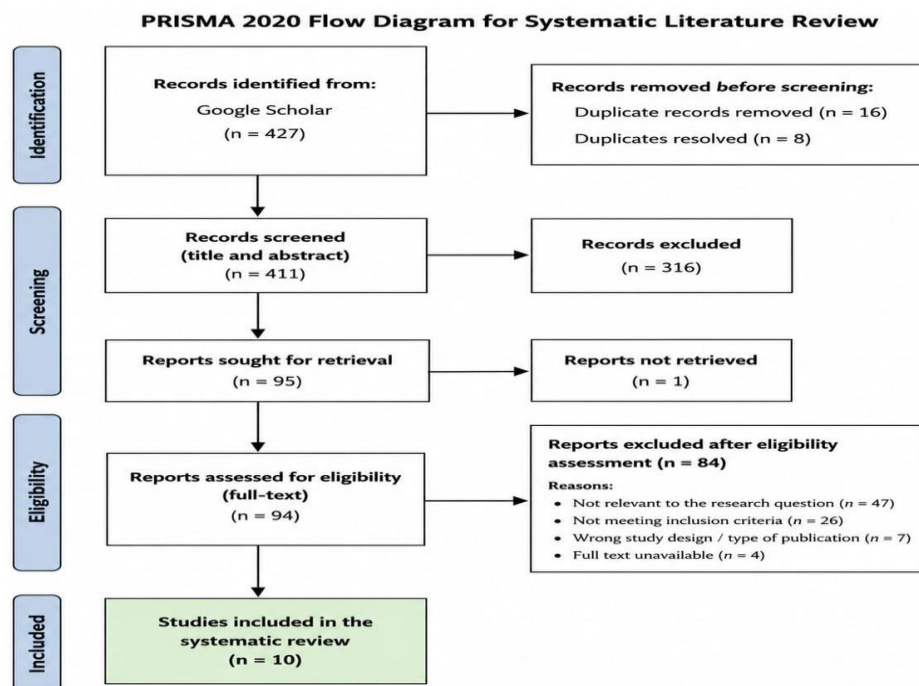
METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis hasil penelitian empiris terkait peran serangga akuatik sebagai bioindikator dalam menilai pencemaran lingkungan perairan. Metode

SLR dipilih karena mampu memberikan sintesis ilmiah yang sistematis, transparan, dan replikatif terhadap temuan-temuan penelitian yang relevan, sehingga menghasilkan pemahaman yang lebih komprehensif dibandingkan tinjauan literatur konvensional.

Proses penelitian mengacu pada pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) yang meliputi empat tahapan utama, yaitu identifikasi (*identification*), penyaringan (*screening*), kelayakan (*eligibility*), dan inklusi (*inclusion*). Pada tahap identifikasi, pencarian literatur dilakukan melalui database jurnal ilmiah terindeks menggunakan query: ("aquatic insects") AND ("water pollution" OR "(environmental pollution)") AND ("bioindicator" OR "biomonitoring"). Pencarian dilakukan untuk memperoleh artikel yang relevan dengan topik penelitian dalam rentang waktu publikasi tahun 2020 hingga 2026.

Tahap *screening* dilakukan dengan menyeleksi artikel berdasarkan judul dan abstrak untuk memastikan kesesuaian dengan fokus penelitian. Artikel yang tidak relevan dengan topik serangga akuatik, pencemaran perairan, atau konsep bioindikator dieliminasi pada tahap ini. Selanjutnya, tahap *eligibility* dilakukan dengan membaca secara menyeluruh (*full-text*) untuk menilai kelayakan artikel berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Tahap akhir adalah *inclusion*, yaitu penetapan artikel yang memenuhi seluruh kriteria sebagai sumber utama dalam analisis. Berdasarkan proses tersebut, diperoleh sebanyak 10 artikel penelitian empiris yang digunakan dalam sintesis.



Gambar 1. Diagram alur PRISMA dalam proses seleksi artikel

Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi: (1) penelitian yang membahas serangga akuatik seperti *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera*, *Diptera*, dan *Coleoptera*; (2) penelitian yang berkaitan dengan pencemaran air atau kualitas lingkungan perairan; (3) penggunaan serangga akuatik sebagai bioindikator atau dalam konteks biomonitoring; (4) artikel berupa penelitian empiris baik lapangan maupun eksperimen; (5) tahun publikasi 2020–2026; (6) artikel berbahasa Inggris atau Indonesia; serta (7) dipublikasikan pada jurnal terindeks dan melalui proses peer-review.

Adapun kriteria eksklusi meliputi: (1) artikel yang tidak melibatkan serangga akuatik sebagai objek penelitian; (2) tidak membahas pencemaran atau kualitas lingkungan perairan;

(3) tidak menggunakan pendekatan bioindikator atau biomonitoring; (4) artikel berupa review, meta-analisis, atau konseptual; (5) penelitian yang hanya berfokus pada aspek taksonomi atau morfologi tanpa konteks lingkungan; (6) artikel yang tidak tersedia dalam bentuk *full-text*; (7) artikel duplikat; serta (8) artikel di luar rentang tahun publikasi yang ditentukan.

Data dari artikel yang terpilih kemudian diekstraksi dan dianalisis secara kualitatif menggunakan pendekatan sintesis tematik. Analisis dilakukan dengan mengelompokkan temuan berdasarkan jenis serangga indikator (*EPT dan non-EPT*), parameter kualitas air yang diukur, serta tingkat pencemaran lingkungan perairan. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi pola umum, perbedaan hasil antar studi, serta evaluasi konsistensi hubungan antara struktur komunitas serangga akuatik dan kondisi kualitas lingkungan perairan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan proses seleksi literatur menggunakan pendekatan PRISMA, diperoleh 10 artikel yang memenuhi kriteria inklusi dan dianalisis lebih lanjut. Studi-studi tersebut didominasi oleh penelitian empiris berbasis survei lapangan dengan pendekatan biomonitoring pada ekosistem perairan (Jumaat & Abdul Hamid, 2021; Rajendra Abhilash *et al.*, 2023). Distribusi penelitian mencakup berbagai wilayah geografis, seperti Asia, Afrika, dan Amerika Latin, yang menunjukkan bahwa penggunaan serangga akuatik sebagai bioindikator telah diterapkan secara luas pada berbagai kondisi lingkungan dengan tingkat tekanan antropogenik yang berbeda (Rodríguez *et al.*, 2024). Variasi lokasi ini juga mengindikasikan adanya heterogenitas kondisi ekologis yang berpotensi mempengaruhi respons komunitas serangga akuatik terhadap pencemaran.

Tabel 1. Sintesis Literatur Penelitian Serangga Akuatik sebagai Bioindikator

No	Penulis & Tahun	Lokasi Studi	Ekosistem	Tujuan Penelitian	Metode	Parameter	Taksa Dominan	Temuan Utama	Keterbatasan
1	Jumaat & Hamid (2021)	Malaysia	Sungai	Menilai kualitas air	Survei lapangan	BMWP, MFBI, DO	EPT	EPT dominan pada air bersih	Terbatas wilayah
2	Rodríguez <i>et al.</i> (2024)	Amerika Latin	Sungai	Hubungan biota & kualitas air	Survei	DO, TSS, nutrien	EPT	DO meningkatkan keanekaragaman; TSS menurunkan kualitas	Variasi musim
3	Abhilash <i>et al.</i> (2023)	India	Danau	Dampak eutrofikasi	Sampling	BOD, N, P	Chironomidae	Dominasi taksa toleran	Tanpa indeks
4	Abbasi (2025)	Global	Review	Peran serangga	Literatur	Lingkungan	Beragam	Indikator global	Tidak spesifik
5	Vitheepradit <i>et al.</i> (2024)	Thailand	Air tawar	Biodiversitas	Survei	DO, pH	EPT	Mikroplastik berpengaruh	Lokasi terbatas
6	Opoggen & Rotimi (2024)	Nigeria	Sungai	Penilaian kualitas	Survei	DO, suhu	EPT	Air bersih = EPT tinggi	Data terbatas
7	Insects (2024)	Chile	Lentik	Analisis komunitas	Sampling	BMWP, DO	EPT & Diptera	Musim mempengaruhi	3 lokasi
8	CleanWAS (2024)	Asia	Perairan umum	Kualitas air	Survei	BOD, COD	Beragam	Kimia mempengaruhi biota	Taksa terbatas
9	Sany <i>et al.</i> (2023)	Sungai Menala, Sumbawa, Indonesia	Sungai (Lotik)	Kualitas air	Survei	DO, pH, suhu, TDS, BOD, nitrat, fosfat, turbidity, EC; indeks FBI, ASPT, H', E, C	Makroinvertebrata bentik	Kualitas air bervariasi dari bersih hingga tercemar berat; stasiun hulu bersih, hilir mengalami pencemaran akibat aktivitas antropogenik	Tidak fokus spesifik pada serangga akuatik saja; masih mencakup seluruh makrozoobentos
10	JUE (2025)	Urban	Urban	Dampak urbanisasi	Observasi	Nutrien	Toleran	Urbanisasi turunkan biodiversitas	Fokus urban

Hasil sintesis menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian menggunakan indeks biotik seperti *Family Biotic Index* (FBI), *Biological Monitoring Working Party* (BMWP), serta indeks adaptif lokal seperti *Malaysian Family Biotic Index* (MFBI) dalam menilai kualitas perairan (Jumaat & Abdul Hamid, 2021; Rodríguez *et al.*, 2024). Indeks-indeks tersebut memanfaatkan tingkat toleransi taksa terhadap pencemaran sebagai dasar klasifikasi kondisi lingkungan. Selain itu, seluruh studi mengombinasikan pendekatan biotik dengan parameter fisik-kimia seperti *dissolved oxygen* (DO), pH, suhu, *total suspended solids* (TSS), serta nutrisi seperti nitrogen dan fosfor (Rajendra Abhilash *et al.*, 2023). Kombinasi ini menunjukkan pendekatan yang lebih komprehensif dalam *biomonitoring*, meskipun terdapat variasi dalam teknik pengambilan sampel dan metode analisis yang digunakan antar penelitian. Perbedaan pendekatan metodologis ini berimplikasi pada variasi hasil yang diperoleh, sehingga menunjukkan bahwa standarisasi metode biomonitoring masih menjadi tantangan dalam penelitian serangga akuatik.

Kelompok *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, dan *Trichoptera* (EPT) secara konsisten dilaporkan sebagai indikator sensitif terhadap kualitas perairan. Dominasi taksa EPT umumnya ditemukan pada perairan dengan kondisi baik dan kandungan oksigen terlarut yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh rendahnya toleransi kelompok ini terhadap polutan organik dan perubahan kondisi lingkungan. Sebaliknya, beberapa penelitian menunjukkan bahwa dominasi taksa toleran seperti *Chironomidae* dan *Corixidae* meningkat pada perairan dengan tingkat pencemaran yang tinggi, terutama pada kondisi *eutrofik* akibat peningkatan nutrisi. Pola ini mengindikasikan adanya pergeseran struktur komunitas sebagai respons terhadap tekanan lingkungan. Namun demikian, tidak semua penelitian menunjukkan pola yang seragam. Studi lain melaporkan bahwa taksa EPT masih ditemukan pada kondisi tekanan antropogenik moderat, yang mengindikasikan adanya adaptasi lokal atau *heterogenitas*. Perbedaan ini menunjukkan bahwa penggunaan EPT sebagai indikator tunggal memiliki keterbatasan dan perlu dikombinasikan dengan parameter lingkungan lainnya untuk meningkatkan akurasi interpretasi (Love & Johnny, 2024; Rodríguez *et al.*, 2024; Sany *et al.*, 2023; Vitheepadit *et al.*, 2024).

Sintesis literatur menunjukkan bahwa parameter fisik-kimia memiliki pengaruh signifikan terhadap struktur komunitas serangga akuatik. Nilai *dissolved oxygen* (DO) yang tinggi berkorelasi positif dengan keanekaragaman taksa sensitif, sedangkan peningkatan *total suspended solids* (TSS), fosfor, dan konduktivitas listrik berkorelasi negatif dengan keanekaragaman (Rodríguez *et al.*, 2024; Vitheepadit *et al.*, 2024). Selain itu, parameter seperti *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan kandungan nitrogen terbukti berkontribusi terhadap variasi nilai indeks biotik seperti BMWP dan MFBI (Jumaat & Abdul Hamid, 2021; Sany *et al.*, 2023). Kondisi *eutrofik* yang ditandai dengan tingginya nutrisi cenderung menyebabkan dominasi organisme yang lebih toleran terhadap stres lingkungan (Rajendra Abhilash *et al.*, 2023). Temuan ini memperkuat konsep bahwa komunitas serangga akuatik merupakan refleksi kumulatif dari tekanan lingkungan, sehingga bioindikator mampu menggambarkan kondisi ekologis secara lebih integratif dibandingkan parameter fisik-kimia tunggal (Abbasi, 2025; Sany *et al.*, 2023).

Hasil analisis menunjukkan adanya variasi dalam klasifikasi kualitas air ketika menggunakan indeks biotik yang berbeda. Beberapa penelitian melaporkan bahwa indeks BMWP lebih sensitif terhadap pencemaran organik dibandingkan indeks lain, sementara indeks seperti FBI menunjukkan hasil yang lebih moderat (Jumaat & Abdul Hamid, 2021). Namun demikian, terdapat inkonsistensi klasifikasi antar indeks, di mana suatu perairan dapat dikategorikan sebagai “baik” oleh MFBI tetapi “sedang” oleh BMWP (Jumaat & Abdul Hamid, 2021). Perbedaan ini disebabkan oleh variasi dalam pendekatan perhitungan, termasuk penggunaan nilai toleransi taksa dan pengaruh data kelimpahan (Sany *et al.*, 2023). Selain itu, variasi kondisi lingkungan akibat tekanan limbah juga mempengaruhi hasil penilaian kualitas

ekosistem berbasis bioindikator (Malakar & Boruah, tahun). Indeks lokal seperti MFBI terbukti lebih representatif dalam menggambarkan kondisi perairan pada wilayah tertentu dibandingkan indeks global (Jumaat & Abdul Hamid, 2021). Hal ini menunjukkan pentingnya pendekatan kontekstual dalam pengembangan indeks biotik (Abbasi, 2025; Sany *et al.*, 2023).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa aktivitas manusia seperti pertanian, urbanisasi, dan kegiatan domestik berkontribusi signifikan terhadap perubahan kualitas perairan dan struktur komunitas serangga akuatik (Chakravarty & Gupta, 2021; Love & Johnny, 2024). Peningkatan limpasan nutrisi dan polutan menyebabkan perubahan kondisi habitat serta menurunkan keanekaragaman spesies (Vitheepradit *et al.*, 2024). Pada ekosistem lentik, kondisi eutrofik akibat akumulasi nutrisi menjadi faktor utama yang menyebabkan dominasi taksa toleran seperti *Chironomidae* serta penurunan taksa sensitif seperti *Ephemeroptera* dan *Trichoptera* (Love & Johnny, 2024). Hal ini menunjukkan bahwa tekanan antropogenik tidak hanya mempengaruhi parameter kimia air, tetapi juga mengubah struktur komunitas biotik secara fundamental (Das, 2022; Sany *et al.*, 2023).

Secara teoretis, penggunaan serangga akuatik sebagai *bioindikator* memberikan pendekatan yang lebih holistik dalam menilai kualitas perairan, karena mampu merefleksikan kondisi lingkungan dalam jangka waktu yang lebih panjang dibandingkan parameter fisik-kimia sesaat (Abbasi, 2025; Sany *et al.*, 2023). Namun demikian, hasil kajian menunjukkan adanya keterbatasan, terutama terkait variasi respons antar taksa dan perbedaan metode indeks yang digunakan, seperti perbedaan sensitivitas antara indeks BMWP, FBI, dan MFBI (Jumaat & Abdul Hamid, 2021). Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu mengembangkan pendekatan integratif yang mengombinasikan parameter biotik dan abiotik untuk meningkatkan akurasi penilaian kualitas perairan (Vitheepradit *et al.*, 2024). Selain itu, adaptasi indeks biotik berbasis karakteristik lokal ekosistem menjadi penting, mengingat perbedaan kondisi geografis dan ekologis dapat mempengaruhi respons komunitas organisme (Love & Johnny, 2024). Di sisi lain, standarisasi metode biomonitoring juga diperlukan untuk meningkatkan konsistensi dan komparabilitas hasil antar penelitian (Chakravarty & Gupta, 2021).

KESIMPULAN

Hasil *Systematic Literature Review* ini menunjukkan bahwa serangga akuatik merupakan *bioindikator* yang efektif dalam menilai kualitas dan tingkat pencemaran lingkungan perairan. Komposisi komunitas serangga akuatik, khususnya perbandingan antara kelompok *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, dan *Trichoptera* (EPT) dengan kelompok non-EPT, mampu merefleksikan kondisi *ecological integrity* ekosistem perairan secara konsisten. Keberadaan kelompok EPT berkorelasi dengan kondisi perairan yang relatif tidak tercemar, sedangkan dominasi taksa toleran seperti *Chironomidae* menunjukkan adanya tekanan lingkungan akibat antropogenik stressors. Hubungan antara parameter kualitas air seperti *dissolved oxygen* (DO), BOD, COD, TSS, serta nutrisi dengan struktur komunitas biota menunjukkan bahwa perubahan kondisi lingkungan secara fisik-kimia akan direspons secara langsung oleh organisme akuatik. Pola respons komunitas yang mengikuti gradien pencemaran memperkuat bahwa biomonitoring berbasis serangga akuatik mampu menggambarkan kondisi lingkungan secara kumulatif dan lebih representatif dibandingkan pendekatan konvensional.

Temuan ini mengindikasikan bahwa pendekatan bioassessment framework berbasis serangga akuatik memiliki potensi besar untuk dikembangkan dalam sistem pemantauan kualitas air yang berkelanjutan. Namun, variasi metodologi antar penelitian serta belum adanya standar global dalam penggunaan indeks biotik menjadi kendala dalam melakukan generalisasi secara luas. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan metode biomonitoring yang lebih

terstandarisasi dengan mengintegrasikan parameter biologis dan fisik-kimia secara komprehensif serta mempertimbangkan karakteristik ekosistem lokal.

Saran yang dapat diberikan adalah perlunya penelitian lanjutan yang mengkaji hubungan antara faktor habitat, variabilitas spasial-temporal, dan respons komunitas serangga akuatik secara lebih mendalam untuk meningkatkan akurasi interpretasi bioindikator. Pengembangan indeks biotik yang adaptif terhadap kondisi lokal juga menjadi penting guna meningkatkan relevansi hasil penelitian di berbagai wilayah. Selain itu, penerapan hasil penelitian dalam kebijakan pengelolaan kualitas air perlu ditingkatkan melalui integrasi pendekatan biomonitoring dalam program pengawasan lingkungan, sehingga dapat mendukung pengelolaan sumber daya perairan yang lebih efektif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, E. (2025). The role of insects in environmental crisis management: implications of climate change and environmental pollution. *Journal of Urban Ecology*, 11(1). <https://doi.org/10.1093/jue/juaf019>
- Bonada, N., Prat, N., Resh, V. H., & Statzner, B. (2006). DEVELOPMENTS IN AQUATIC INSECT BIOMONITORING: A Comparative Analysis of Recent Approaches. *Annual Review of Entomology*, 51(1), 495–523. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151124>
- Chakravarty, T., & Gupta, S. (2021a). Monitoring of river health using aquatic insects: A study on Jatinga River, North East India. *Aquatic Research*, 4(4), 363–375. <https://doi.org/10.3153/AR21031>
- Das, B. K. (2022). Macrobenthic Pollution Bioindicator for Ecological Monitoring in Riverine Ecosystem. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 29(5). <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2022.29.556273>
- Hering, D., Feld, C. K., Moog, O., & Ofenböck, T. (2006). Cook book for the development of a Multimetric Index for biological condition of aquatic ecosystems: Experiences from the European AQEM and STAR projects and related initiatives. *Hydrobiologia*, 566(1), 311–324. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0087-2>
- Jumaat, A. H., & Abdul Hamid, S. (2021). Biological Water Quality Indices Performance Based on Aquatic Insects in Recreational Rivers. *Tropical Life Sciences Research*, 32(1), 89–103. <https://doi.org/10.21315/tlsr2021.32.1.6>
- Li, H., Zhong, Q., Wang, X., Luo, F., Zhou, L., Sun, H., Yang, M., Lou, Z., Chen, Z., & Zhang, X. (2021). The degradation and metabolism of chlorfluazuron and flonicamid in tea: A risk assessment from tea garden to cup. *Science of The Total Environment*, 754, 142070. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142070>
- Love, O., & Johnny, R. (2024). AN ASSESSMENT OF THE WATER QUALITY OF RIVER ERUVBI USING AQUATIC INSECTS AS BIO-INDICATORS. *Journal CleanWAS*, 8(1), 45–49. <https://doi.org/10.26480/jcleanwas.01.2024.45.49>
- Lu, K., Jähnig, S. C., Wu, H., Xie, Z., Chen, X., & He, F. (2023). Trait-based approach of aquatic insects to track recovery of wetland ecosystems in Northeast China. *Ecological Indicators*, 155, 111012. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111012>
- Nuraeni, S., Budiaman, B., Lismayani, L., Pratiyo, A., & Wahyudi, W. (2025). Diversity and Role of Aquatic Insects as Bioindicators in the Lekopancing River, Maros District, South Sulawesi. *PERENNIAL*. <https://doi.org/10.24259/perennial.v21i2.43381>
- Pontarollo, N., & Mendieta Muñoz, R. (2020). Land consumption and income in Ecuador: A case of an inverted environmental Kuznets curve. *Ecological Indicators*, 108, 105699. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105699>

- Rajendra Abhilash, H., Mahadevaswamy, M., Ravindra Shashank, K., & Nagaraj Anil Kumar, M. (2023). Biodiversity and abundance of aquatic insects in two freshwater lakes of Mysore district, Karnataka, India. *Arthropods*, 12(1), 1–15. www.iaees.org
- Rodríguez, S., Huerta, A., Palma, Á., Vicencio, F., & Araya, J. E. (2024). Utilizing Insects as Bioindicators: An Approximation for Conservation in Urban Lentic Ecosystems in Central Chile. *Insects*, 15(11), 831. <https://doi.org/10.3390/insects15110831>
- Sany, Z. M., Arisoelaningsih, E., & Retnaningdyah, C. (2023). Evaluation of Menala River Water Quality Based on Benthic Macroinvertebrate as Bioindicator to Support Tourism in Sumbawa Island, Indonesia. *Journal of Indonesian Tourism and Development Studies*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.21776/ub.jitode.2023.011.01.01>
- Taek, G. G. M. (2024). Evaluation of aquatic insects as bioindicators of water quality in industrial areas of Surabaya, East Java. *Genbinesia Journal of Biology*, 3(3), 105–112.
- Vitheepradit, A., Mitpuangchon, N., & Prommi, T.-O. (2024). Aquatic insect biodiversity, water quality variables, and microplastics in the living weir freshwater ecosystem. *Ecologica Montenegrina*, 79, 41–63. <https://doi.org/10.37828/em.2024.79.5>