Binamulia Hukum, Volume 15, Nomor 2, (2026) *ISSN 2656-856X*
DOI: 10.37893/jbh.v15i2.1488

Check for updates

Analisis Regulasi Hukum Penggunaan Serangga sebagai Bioindikator Kualitas Lingkungan di Indonesia: Studi Normatif-Komparatif

Nhyra Kamala Putri [a,*], Agung Munandar [a], Nana Ariska [a], Hilmina Itawarnemi [a], Maulidil Fajri [a]

[a] Universitas Teuku Umar, Aceh Barat, Indonesia
* Email: nhyra.kamalaputri@utu.ac.id

Received: 20-07-2026 *Revised: 11-09-2026* *Accepted: 11-10-2026* *Published: 26-10-2026*

Abstrak

Serangga merupakan organisme yang sensitif terhadap perubahan lingkungan sehingga banyak digunakan sebagai bioindikator kualitas lingkungan. Meskipun berbagai penelitian di Indonesia menunjukkan efektivitas penggunaannya pada ekosistem perairan dan terestrial, kedudukannya dalam sistem hukum lingkungan hidup belum banyak dikaji. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaturan pemanfaatan serangga sebagai bioindikator kualitas lingkungan, mengidentifikasi celah regulasi (*regulatory gap*), serta merumuskan rekomendasi penguatannya. Penelitian menggunakan metode hukum normatif dengan pendekatan perundang-undangan, konseptual, dan perbandingan hukum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hukum lingkungan Indonesia telah menyediakan landasan normatif bagi penggunaan bioindikator serangga melalui pengaturan aspek hayati, keanekaragaman hayati, fungsi ekologis, dan perkembangan ilmu pengetahuan sehingga tidak terdapat kekosongan hukum (*legal lacuna*). Namun, terdapat *regulatory gap* pada tingkat operasional dan teknis karena biomonitoring berbasis serangga belum terintegrasi secara memadai ke dalam instrumen penilaian, pemantauan, dan evaluasi lingkungan hidup. Oleh karena itu, diperlukan optimalisasi instrumen yang telah ada serta penyempurnaan pengaturan teknis untuk mendukung integrasi biomonitoring berbasis serangga dalam sistem perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup di Indonesia.

Kata Kunci: Biomonitoring; Celah Regulasi; Tata Kelola Lingkungan Berbasis Bukti Ilmiah.

Abstract

Insects are highly sensitive organisms responsive to environmental fluctuations, rendering them widely utilized as bioindicators of ecological quality. Although numerous studies across Indonesia have demonstrated their efficacy in both aquatic and terrestrial ecosystems, their standing within the environmental legal framework remains insufficiently explored. This study aims to analyze the regulatory frameworks governing the utilization of insects as environmental bioindicators, identify existing regulatory gaps, and formulate policy recommendations for enhancement. Employing a normative legal methodology, this research utilizes statutory, conceptual, and comparative legal approaches. The findings reveal that Indonesian environmental law provides a solid normative foundation for deploying insect bioindicators through provisions addressing biological aspects, biodiversity, ecological functions, and scientific advancement, thereby precluding any legal vacuum (legal lacuna). Nevertheless, a distinct regulatory gap persists at the operational and technical levels, as insect-based biomonitoring has yet to be adequately integrated into statutory environmental assessment, monitoring, and evaluation instruments. Consequently, optimizing existing instruments and refining technical regulations are imperative to facilitate the seamless integration of insect-based biomonitoring into Indonesia's environmental protection and management system.

| *This is an open access article under the CC BY-NC 4.0*

Keywords: *Biomonitoring; Evidence-Based Environmental Governance; Regulatory Gap.*

1. PENDAHULUAN

Pemantauan kualitas lingkungan merupakan salah satu instrumen penting dalam perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup yang mendukung pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan. Di Indonesia, sistem pemantauan lingkungan masih didominasi oleh pengukuran parameter fisik, kimia, dan spasial sebagai dasar penentuan status kualitas lingkungan (Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional [Bappenas], Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan [Permen LHK] Nomor 1 Tahun 2021). Pendekatan tersebut umumnya berfokus pada parameter yang dapat diukur secara langsung, seperti konsentrasi polutan, kualitas media lingkungan, dan luas tutupan vegetasi (Bappenas, Permen LHK Nomor 1 Tahun 2021). Sementara, indikator biologis yang merefleksikan respons organisme terhadap tekanan lingkungan (Handinata & Muntalif, 2017; Ibrahim & Sjarmidi, 2017; Nugraha dkk., 2024; Ratnasari dkk., 2023) belum memperoleh perhatian yang setara dalam sistem penilaian kualitas lingkungan. Keterbatasan tersebut menunjukkan perlunya integrasi bioindikator sebagai pendekatan pelengkap untuk menilai kondisi ekologis ekosistem secara lebih komprehensif dan berkelanjutan.

Serangga merupakan kelompok bioindikator yang potensial untuk diintegrasikan dalam sistem pemantauan di Indonesia karena kepekaannya terhadap gangguan habitat, tingginya keanekaragaman, dan persebarannya yang luas pada berbagai tipe ekosistem (Chowdhury dkk., 2023; Medhi dkk., 2021; Rocha dkk., 2010). Pemanfaatan serangga sebagai bioindikator dalam kerangka hukum internasional telah diatur melalui diferensiasi instrumen yang terstruktur. Di Amerika Serikat, landasan *statutory rule* terdapat dalam *Clean Water Act* (CWA). Section 101(a) (33 U.S.C. § 1251(a)) menetapkan perlindungan dan pemulihan *biological integrity* perairan sebagai tujuan utama, yang kemudian diperkuat oleh Section 303(c)(2)(B) (33 U.S.C. § 1313(c)(2)(B)) dan Section 304(a)(8) (33 U.S.C. § 1314(a)(8)) melalui pengembangan kriteria berbasis *biological monitoring and assessment*. Mandat tersebut dioperasionalkan pada tingkat *implementing regulation* melalui 40 CFR § 131.11 dalam *Water Quality Standards Regulations* (40 CFR Part 131), yang mengatur penerapan *biological criteria* dalam standar kualitas air. Pada tingkat *technical guidance*, US EPA menerbitkan *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers* (EPA 841-B-99-002) dan *Biological Criteria: Technical Guidance for Streams and Small Rivers* (EPA 822-B-96-001) yang menggunakan komunitas makroinvertebrata bentos, termasuk serangga akuatik, sebagai objek penilaian kondisi ekologis perairan (Barbour dkk., 1999; Gibson dkk., 1996). Pelaksanaan biosurvei tersebut selanjutnya didukung oleh *technical standards* seperti *United States Geological Survey* (USGS) *Open-File Report 93-407* yang mengatur prosedur pengambilan, pengolahan, dan penjaminan mutu data makroinvertebrata (Cuffney dkk., 1993).

Di Uni Eropa, pemanfaatan serangga sebagai bioindikator memperoleh landasan *statutory rule* melalui Directive 2000/60/EC (*Water Framework Directive*/WFD). Melalui Article 4, Article 8, serta Annex V, WFD menetapkan kewajiban pencapaian *Good Ecological Status* dan menempatkan *benthic invertebrate fauna* sebagai salah satu *Biological Quality Elements* dalam pemantauan ekologis perairan, yang mencakup komunitas makroinvertebrata bentos termasuk

berbagai kelompok serangga akuatik (European Parliament & Council, 2000). Ketentuan tersebut kemudian ditindaklanjuti melalui *implementing regulations*, antara lain *Commission Decision* (EU) 2018/229 yang menetapkan hasil *intercalibration exercise* dan nilai batas klasifikasi sistem pemantauan negara anggota berdasarkan *Ecological Quality Ratio* (EQR) (European Commission, 2018). Pada tingkat *technical guidance*, Komisi Eropa menerbitkan *Common Implementation Strategy* (CIS) Guidance Documents, termasuk *Guidance Document No. 6* mengenai mengenai pembentukan jaringan interkalibrasi dan proses pelaksanaan *intercalibration exercise* dan *Guidance Document No. 14* mengenai proses interkalibrasi (European Commission, 2003, 2011). Pelaksanaan biosurvei selanjutnya didukung oleh *technical standards* yang secara eksplisit dirujuk dalam Annex V Point 1.3.6 WFD sebagai *standards for monitoring of quality elements*, antara lain EN ISO 8689-1:1999 mengenai interpretasi data kualitas biologis dan EN ISO 8689-2:1999 mengenai penyajian data kualitas biologis hasil survei makroinvertebrata bentos pada perairan mengalir (European Parliament & Council, 2000). Keterbandingan hasil penilaian ekologis antarnegara anggota kemudian dijamin melalui *Intercalibration Exercise* sebagaimana diatur dalam Annex V Point 1.4.1 WFD (European Parliament & Council, 2000).

Di Indonesia, penggunaan serangga sebagai bioindikator juga telah berkembang dalam berbagai penelitian ekologis (Buchori dkk., 2018; Diantari dkk., 2017; Suheriyanto dkk., 2020; Trianto dkk., 2020). Kajian yang secara khusus menganalisis keterkaitan antara perkembangan bukti ilmiah mengenai serangga sebagai bioindikator dengan kerangka hukum lingkungan nasional masih sangat terbatas. Namun, kajian yang secara khusus menganalisis keterkaitan antara perkembangan bukti ilmiah tersebut dengan kerangka hukum lingkungan nasional, khususnya mengenai tingkat integrasi instrumen regulatif dari tingkat *statutory rule*, *implementing regulation*, *technical guidance*, hingga *technical standard*, masih sangat terbatas.

Berbagai peraturan perundang-undangan di bidang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup telah menyediakan landasan normatif yang berpotensi mendukung penggunaan indikator biologis, antara lain Undang-Undang (UU) Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (PPLH), Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 46 Tahun 2016 tentang Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS), PP Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan PPLH, PP Nomor 26 Tahun 2025 tentang Perencanaan PPLH, Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 98 Tahun 2021 tentang Nilai Ekonomi Karbon, Permen LHK Nomor 93 Tahun 2018 tentang Pemantauan Kualitas Air Limbah secara Terus Menerus dan dalam Jaringan bagi Usaha dan/atau Kegiatan, Permen LHK Nomor 1 Tahun 2021 tentang Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup (PROPER) serta Permen LHK Nomor 27 Tahun 2021 tentang Indeks Kualitas Lingkungan Hidup, Permen LHK Nomor 13 Tahun 2024 tentang Pelaksanaan PP 46/2016 (KLHS). Namun, belum terdapat pengaturan yang secara eksplisit mengakui dan mengintegrasikan bioindikator serangga sebagai bagian dari sistem pemantauan dan penilaian kualitas lingkungan nasional.

Kondisi ini tidak menunjukkan adanya kekosongan hukum mutlak (*legal lacuna*) pada tingkat norma dasar. Secara doktrinal, *legal lacuna* didefinisikan sebagai ketiadaan norma hukum primer atau kekosongan hukum mutlak (*lacuna juris*) tempat aturan dasar belum dibentuk sama sekali (Lauterpacht, 1958). Dalam

konteks Indonesia, norma dasar perlindungan lingkungan hidup sebenarnya telah tersedia melalui istilah payung (*umbrella terms*) dalam berbagai peraturan perundang-undangan di bidang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Permasalahan utama terdapat pada celah regulasi (*regulatory gap*) di tingkat teknis-operasional (Jordan & Gravey, 2021; OECD, 2025). Celah regulasi tersebut terjadi akibat belum diintegrasikannya bukti ilmiah (*scientific evidence*) ke dalam instrumen teknis pelaksana teknis (OECD, 2025; Soininen dkk., 2023), yang dalam tata hukum Indonesia tercermin dari belum diakomodasinya pemanfaatan serangga sebagai bioindikator secara eksplisit ke dalam Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH), PROPER, maupun Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL).

Berangkat dari adanya *regulatory gap* tersebut, artikel ini menghadirkan kebaruan (*novelty*) berupa analisis interdisipliner yang menghubungkan perkembangan bukti ilmiah mengenai pemanfaatan serangga sebagai bioindikator dengan analisis kerangka hukum lingkungan nasional. Artikel ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu hukum lingkungan, bagaimana instrumen regulasi dapat beradaptasi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan (*future-proof legislation*) (Dickinson, 2026; van Asselt dkk., 2025) melalui pendekatan regulasi berbasis sains (*science-based regulation*) (Soininen dkk., 2023) guna mendukung penyelenggaraan tata kelola lingkungan berbasis bukti ilmiah (*evidence-based environmental governance*) (Armitage dkk., 2007; Fabricius & Currie, 2015; Ostrom, 1990).

Berdasarkan uraian tersebut, artikel ini bertujuan untuk menelaah pemanfaatan serangga sebagai bioindikator di Indonesia, menganalisis *regulatory gap* dalam kerangka hukum lingkungan nasional melalui komparasi dengan standar dan praktik internasional, serta merumuskan rekomendasi normatif bagi penguatan integrasi bioindikator serangga ke dalam sistem pemantauan dan penilaian kualitas lingkungan nasional.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian hukum normatif (*doctrinal legal research*) yang bertujuan menganalisis pengaturan pemanfaatan serangga sebagai bioindikator dalam kerangka hukum lingkungan serta mengidentifikasi adanya *regulatory gap* dalam sistem regulasi lingkungan di Indonesia. Pendekatan perundang-undangan (*statute approach*) digunakan untuk menelaah berbagai peraturan perundang-undangan lingkungan hidup. Pendekatan konseptual (*conceptual approach*) digunakan untuk mengkaji dan mendefinisikan enam konsep utama secara teoretis dan doktrinal, yaitu: (1) *legal lacuna* sebagai ketiadaan norma dasar (Lauterpacht, 1958); (2) *regulatory gap* sebagai kesenjangan pada norma operasional-teknis (Jordan & Gravey, 2021; OECD, 2025); (3) *future-proof legislation* sebagai desain hukum adaptif berbasis norma terbuka (*open-textured norms*) (Dickinson, 2026; van Asselt dkk., 2025); (4) *regulatory gateway* sebagai klausa penampung normatif (Soininen dkk., 2023); (5) *science-based regulation* sebagai pembentukan norma berlandaskan validasi *scientific evidence* (Soininen dkk., 2023); serta (6) *evidence-based environmental governance* sebagai sistem tata kelola berbasis bukti empiris (Armitage dkk., 2007; Fabricius & Currie, 2015; Ostrom, 1990). Sementara itu, pendekatan perbandingan (*comparative approach*) digunakan untuk membandingkan kerangka regulasi Indonesia dengan Uni Eropa dan Amerika Serikat.

Bahan hukum yang digunakan terdiri atas bahan hukum primer dan bahan hukum sekunder. Bahan hukum primer meliputi peraturan perundang-undangan Indonesia yang berkaitan dengan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, termasuk Undang-Undang, Peraturan Pemerintah, Peraturan Presiden, dan Peraturan Menteri yang relevan, serta instrumen regulasi internasional yang menjadi objek perbandingan, seperti WFD (Directive 2000/60/EC) Uni Eropa dan CWA Amerika Serikat. Bahan hukum sekunder meliputi artikel jurnal, buku, laporan penelitian, dokumen kebijakan, serta literatur ilmiah yang membahas bioindikator serangga, pemantauan kualitas lingkungan, dan perkembangan hukum lingkungan.

Analisis bahan hukum dilakukan melalui tahapan inventarisasi, interpretasi, sistematisasi, dan analisis komparatif. Inventarisasi bahan hukum dilakukan melalui penelusuran dan pengumpulan bahan hukum primer serta bahan hukum sekunder yang relevan melalui basis data peraturan perundang-undangan dan sumber literatur ilmiah daring. Penelusuran dilakukan menggunakan kata kunci seperti serangga bioindikator, bioindikator kualitas lingkungan, *insect bioindicator*, *environmental monitoring regulation*, dan *environmental governance*. Literatur dipilih berdasarkan relevansi terhadap topik penelitian, kredibilitas sumber, kejelasan metodologi, dan keterbaruan publikasi dengan memprioritaskan literatur yang diterbitkan dalam rentang tahun 2016-2025, kecuali sumber rujukan dasar yang masih memiliki relevansi konseptual dan normatif. UU No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup ditempatkan sebagai undang-undang induk (*statutory baseline*) yang menjadi landasan normatif analisis. PP No. 26 Tahun 2025 tentang Perencanaan PPLH yang diundangkan pada 5 Juni 2025 digunakan sebagai batas temporal (*cut-off date*) penelitian, sehingga perkembangan regulasi yang dianalisis dibatasi sampai dengan berlakunya peraturan tersebut. Interpretasi dilakukan dengan menelaah makna dan ruang lingkup norma yang berkaitan dengan instrumen pemantauan kualitas lingkungan. Sistematisasi dilakukan untuk memetakan hubungan antarperaturan dalam hierarki regulasi lingkungan nasional. Selanjutnya, analisis komparatif digunakan untuk membandingkan pengaturan Indonesia dengan kerangka regulasi Uni Eropa dan Amerika Serikat.

Pemilihan Uni Eropa dan Amerika Serikat sebagai yurisdiksi pembanding didasarkan pada keberadaan instrumen regulasi yang secara normatif mengintegrasikan pendekatan biologis dalam sistem pemantauan kualitas lingkungan, yaitu WFD di Uni Eropa dan CWA di Amerika Serikat (European Parliament & Council, 2000). Dalam kedua yurisdiksi tersebut, pemanfaatan serangga sebagai bioindikator telah memperoleh landasan normatif dalam sistem pemantauan kualitas lingkungan melalui instrumen regulasi yang mengikat. Pemilihan ini memungkinkan analisis komparatif terhadap perbedaan tingkat pengaturan antara Indonesia dan yurisdiksi yang telah mengakomodasi bioindikator serangga dalam regulasi formal, sehingga relevan untuk mengidentifikasi adanya *regulatory gap* dalam kerangka hukum lingkungan nasional. Perbandingan dilakukan berdasarkan parameter: (1) pengakuan normatif terhadap bioindikator dalam regulasi lingkungan; (2) tingkat integrasi bioindikator dalam sistem pemantauan dan penilaian kualitas lingkungan; serta (3) mekanisme implementasi yang mendukung penggunaannya.

Kriteria untuk mengidentifikasi adanya *regulatory gap* ditentukan berdasarkan tiga parameter doktrinal (Jordan & Gravey, 2021; OECD, 2025; Soininen dkk., 2023): (1) ketiadaan pengaturan yang secara eksplisit mengakui atau mengatur

penggunaan bioindikator serangga dalam sistem pemantauan kualitas lingkungan; (2) ketiadaan *regulatory gateway* berupa klausa penampung normatif yang mengintegrasikan bioindikator serangga ke dalam instrumen penilaian kualitas lingkungan; serta (3) adanya kesenjangan antara perkembangan *scientific evidence* dan tingkat pengakomodasiannya dalam regulasi yang berlaku guna mewujudkan *science-based regulation* dan *evidence-based environmental governance*.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemanfaatan Serangga sebagai Bioindikator Kualitas Lingkungan di Indonesia

Bioindikator merupakan organisme hidup yang digunakan untuk menilai kualitas lingkungan berdasarkan responsnya terhadap perubahan kondisi lingkungan yang dapat diamati atau diukur (Alves dkk., 2024; Machuca-Sepúlveda dkk., 2023). Salah satu kelompok bioindikator yang banyak digunakan dalam pemantauan kualitas lingkungan adalah serangga karena kemampuan sensitivitasnya tinggi terhadap gangguan habitat , termasuk pencemaran tanah, air, dan udara, serta didukung oleh tingkat keanekaragaman yang tinggi dan persebaran yang luas pada berbagai tipe ekosistem (Chowdhury dkk., 2023; Lakshmi dkk., 2021; Liaqat dkk., 2023; Medhi dkk., 2021; Rocha dkk., 2010). Karakteristik tersebut menjadikan serangga potensial sebagai bioindikator kualitas lingkungan secara efektif pada tipe ekosistem yang beragam, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Implementasi Penggunaan Serangga sebagai Bioindikator pada Berbagai Ekosistem di Indonesia

Kelompok Serangga Bioindikator	Jenis ekosistem yang dinilai	Lokasi ekosistem	Peneliti
EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), Odonata, Hemiptera, Diptera, Coleoptera, Neuroptera	Perairan (sungai)	Jawa Barat, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah, Yogyakarta	Suci; Diantari dkk.; Ibrahim & Sjarmidi; Nuraeni dkk.; Trianto dkk.; dan Wijaya dkk.
Hymenoptera, Hymenoptera, Coleoptera, Hemiptera, Dermaptera, Orthoptera	Teresterial (lahan pasca tambang dan agroekosistem)	Kalimantan Timur, Jawa Timur	Buchori dkk. dan Suheriyanto dkk.

Pada ekosistem perairan, kelompok serangga digunakan untuk menilai kualitas air, sedangkan pada ekosistem terestrial dimanfaatkan untuk mengevaluasi kesehatan agroekosistem, keberhasilan reklamasi lahan pascatambang, serta karakteristik tipe ekosistem tertentu (Buchori dkk., 2018; Diantari dkk., 2017; Ibrahim & Sjarmidi, 2017; Nuraeni dkk., 2019; Suci, 2016; Suheriyanto dkk., 2020; Trianto dkk., 2020; Wijaya dkk., 2025). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan serangga sebagai bioindikator di Indonesia tidak terbatas pada satu tipe habitat, tetapi telah diterapkan pada berbagai kondisi lingkungan dengan tujuan yang beragam.

Penilaian kualitas lingkungan berbasis serangga memerlukan pendekatan biomonitoring dengan metode analisis yang tepat sesuai dengan tujuan dan

karakteristik ekosistem yang dikaji. Pada ekosistem perairan, indeks biotik seperti *Family Biotic Index* (FBI), *Hilsenhoff Family Biotic Index* (HFBI), *Stream Invertebrate Grade Number–Average Level* (SIGNAL 2 Grade), dan *Biological Monitoring Working Party* (BMWP) umum digunakan untuk mengevaluasi kondisi perairan berdasarkan tingkat sensitivitas atau toleransi kelompok serangga terhadap perubahan lingkungan (Diantari dkk., 2017; Nuraeni dkk., 2019; Suci, 2016; Trianto dkk., 2020; Wijaya dkk., 2025). Selain itu, indeks keanekaragaman seperti Shannon-Wiener, Simpson, Evenness, dan Margalef juga digunakan untuk menggambarkan karakteristik komunitas serangga pada berbagai tipe ekosistem, baik perairan maupun terestrial (Ibrahim & Sjarmidi, 2017; Buchori dkk., 2018; Nuraeni dkk., 2019; Suheriyanto dkk., 2020; Trianto dkk., 2020; Wijaya dkk., 2025). Perkembangan biomonitoring modern, khususnya pada ekosistem perairan, juga menunjukkan penggunaan indeks multimetrik, seperti *Macroinvertebrate Index of Biotic Integrity* (M-IBI), yang mengintegrasikan berbagai metrik biologis berbasis komunitas makroinvertebrata bentos, khususnya taksa serangga air, untuk menilai integritas ekologis secara lebih komprehensif (Ibrahim & Sjarmidi, 2017).

Hasil interpretasi nilai indeks biotik dan keanekaragaman dapat menggambarkan kualitas lingkungan yang ditandai dengan tingginya keanekaragaman komunitas serangga serta keberadaan kelompok yang sensitif terhadap gangguan lingkungan (Trianto dkk., 2020; Wijaya dkk., 2025). Sebaliknya, perubahan pada struktur komunitas serangga dapat mencerminkan adanya perubahan kondisi lingkungan yang terjadi pada habitat tersebut (Nuraeni dkk., 2019). Hal ini menunjukkan bahwa serangga memiliki respon biologis yang dapat mencerminkan kondisi ekosistem secara objektif.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa serangga memiliki potensi besar sebagai bioindikator kualitas lingkungan pada beragam tipe ekosistem di Indonesia. Namun, penerapan pendekatan ini dalam sistem pemantauan lingkungan tidak hanya ditentukan oleh aspek ilmiah dan metodologis, tetapi juga oleh kerangka regulasi yang menetapkan standar, parameter, dan metode resmi. Oleh karena itu, penelaahan regulasi yang relevan diperlukan untuk mengidentifikasi sejauh mana pemanfaatan serangga telah diakomodasi dalam kebijakan lingkungan serta peluang penguatannya di Indonesia.

3.2 Regulasi Nasional dan Internasional tentang Bioindikator Serangga

Pemanfaatan serangga sebagai bioindikator kualitas lingkungan di Indonesia telah memperoleh dukungan *scientific evidence* pada berbagai penelitian ekologis (Tabel 1) serta telah direkomendasikan dalam Petunjuk Teknis Restorasi Kualitas Air Sungai, meskipun belum diintegrasikan ke dalam standar baku pemantauan lingkungan nasional. Hal ini menandakan adanya *regulatory gap*, yaitu ketidaksinkronan antara pesatnya perkembangan *scientific evidence* mengenai pemanfaatan serangga sebagai bioindikator dan tingkat pengakomodasiannya dalam regulasi lingkungan formal (Jordan & Gravey, 2021; OECD, 2025; Soininen dkk., 2023).

Regulatory gap tersebut memiliki konsekuensi hukum berupa belum adanya pengaturan operasional yang secara eksplisit mengakui penggunaan bioindikator serangga dalam sistem pemantauan dan penilaian kualitas lingkungan nasional. Meskipun demikian, ketiadaan pengaturan operasional tersebut tidak menunjukkan absennya dasar normatif bagi pemanfaatan bioindikator serangga. Sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2, berbagai regulasi lingkungan hidup di Indonesia telah

memberikan ruang normatif yang memungkinkan pengakomodasian parameter biologis secara luas.

Tabel 2. Daftar Regulasi Lingkungan di Indonesia terkait Bioindikator

Regulasi	Pasal dan Ayat	Bunyi Ketentuan (Verbatim)
UU Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (PPLH)	Pasal 1 angka 17	"Kerusakan lingkungan hidup adalah perubahan langsung dan/atau tidak langsung terhadap sifat fisik, kimia, dan/atau hayati lingkungan hidup yang melampaui kriteria baku kerusakan lingkungan hidup"
	Pasal 10 ayat (2) huruf a	"Penyusunan RPPLH sebagaimana dimaksud pada ayat (1) memperhatikan: a. keragaman karakter dan fungsi ekologis;
	Pasal 16 huruf f	KLHS memuat kajian antara lain: f. tingkat ketahanan dan potensi keanekaragaman hayati.
PP Nomor 46 Tahun 2016 tentang Tata Cara Penyelenggaraan Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS)	Pasal 13 ayat (1) huruf f	Hasil analisis sebagaimana dimaksud dalam Pasal 12 paling sedikit memuat kajian: f. tingkat ketahanan dan potensi keanekaragaman hayati.
PP Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan PPLH	Pasal 1 angka 29	Kerusakan Lingkungan Hidup adalah perubahan langsung dan/atau tidak langsung terhadap sifat fisik, kimia, dan/atau hayati Lingkungan Hidup yang melampaui Kriteria Baku Kerusakan Lingkungan Hidup
PP Nomor 26 Tahun 2025 tentang Perencanaan PPLH	Pasal 6 ayat (4) huruf a angka 4 dan huruf b angka 3	Data dan informasi wilayah Ekoregion sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf b, terdiri dari: a. wilayah Ekoregion darat, meliputi: 4. flora dan fauna; b. wilayah Ekoregion laut, meliputi: 3. keanekaragaman hayati.
	Pasal 32 ayat (3) huruf c	Rencana pemeliharaan dan perlindungan kualitas dan/atau Fungsi Lingkungan Hidup sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b memuat paling sedikit: c. restorasi, rehabilitasi, dan peningkatan kualitas Ekosistem, keanekaragaman hayati, dan wilayah penyedia Jasa Lingkungan Hidup.
	Penjelasan Pasal 5 ayat (1) huruf b	Yang dimaksud dengan "data dan informasi nonspasial" adalah data dan informasi yang tidak terkait dengan ruang dan lokasi geografis, dan terfokus pada atribut, karateristik, atau variabel

		yang tidak terikat dengan letak geografis, antara lain data dan informasi mengenai usia, jenis kelamin, pendidikan, data lingkungan hidup, kesehatan, dan ekologi"
Perpres Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon	Pasal 82 ayat (2) huruf g	Penyediaan informasi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf a paling sedikit meliputi informasi: g. nilai bukan karbon, termasuk namun tidak terbatas pada biodiversitas, pariwisata, nilai air dan jasa lingkungan lainnya; dan
Permen LHK Nomor 93 Tahun 2018 tentang Pemantauan Kualitas Air Limbah secara Terus Menerus dan dalam Jaringan bagi Usaha dan/atau Kegiatan	Pasal 10 ayat (1) huruf a	Selain kewajiban pengoperasian Sparing sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1), penanggung jawab usaha dan/atau kegiatan wajib melakukan pemantauan kualitas air limbah secara manual terhadap: a. parameter yang tidak dilakukan pemantauan kualitas air limbah terus menerus;
Permen LHK Nomor 1 Tahun 2021 tentang Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup (Proper)	Pasal 16 ayat (2) huruf b angka 3 huruf f	Penilaian Proper sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan terhadap: b. kinerja penanggung jawab Usaha dan/atau Kegiatan yang melebihi ketaatan yang diwajibkan dalam peraturan perundang-undangan, yang meliputi: 3. penerapan sistem manajemen lingkungan untuk pemanfaatan sumber daya pada bidang: f) perlindungan keanekaragaman hayati.
	Lampiran I Bagian II Tabel B No. 7 Kolom Biru	Melakukan pemantauan atas sifat fisik, kimia, biologi, dan radioaktif terhadap air sumber. Melaporkan hasil pemantauan atas sifat fisik, kimia, biologi, dan radioaktif terhadap air sumber
	Lampiran II Bagian II Petunjuk Pengisian angka (2) huruf g	Ketaatan terhadap pemantauan dan pelaporan Perusahaan telah melakukan pemantauan dan melaporkan hasil pemantauan atas sifat fisik, kimia, biologi, dan radioaktif terhadap air sumber kepada instansi yang berwenang
Permen LHK Nomor 27 Tahun 2021 tentang Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH)	Pasal 10 huruf a angka 9 dan 10	Parameter sebagaimana dimaksud dalam Pasal 8 huruf b meliputi: a. untuk air: 9. fecal coliform; 10. klorofil-a; dan/atau
Permen LHK Nomor 13 Tahun 2024 tentang Pelaksanaan PP Nomor 46 Tahun 2016 (KLHS)	Pasal 18 ayat (2) huruf f	Batas ekologis sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b terdiri atas: f. wilayah jelajah spesies kunci; dan/atau

	Lampiran III Bagian A.3 Batasan Variabel angka 1 sub angka 1.10	Status kondisi lingkungan hidup meliputi status kondisi lingkungan hidup saat ini, pola kecenderungannya, dan status kondisi lingkungan hidup ke depan yang akan digunakan sebagai *environmental baseline/setting* di dalam wilayah kajian.

Sumber: Diolah penulis berdasarkan peraturan perundang-undangan yang tercantum dalam tabel dan diakses melalui JDIH BPK RI (https://peraturan.bpk.go.id), dengan penyesuaian dan sintesis sesuai fokus kajian bioindikator.

Dalam sistem peraturan perundang-undangan, norma yang bersifat umum dalam UU Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (UU PPLH) didelegasikan secara berjenjang kepada peraturan pelaksana untuk dirumuskan lebih lanjut dalam bentuk ketentuan teknis dan operasional. Tabel 2 menunjukkan bahwa pengakuan terhadap aspek biologis tidak hanya terdapat pada UU PPLH sebagai norma induk, tetapi juga berlanjut pada berbagai peraturan pelaksana melalui *umbrella terms* seperti 'keanekaragaman hayati', 'biodiversitas', 'fungsi ekologis', 'ekologi', 'jasa ekosistem', 'sifat hayati', 'sifat biologi', 'flora dan fauna', 'wilayah jelajah spesies kunci'. Secara doktrinal, berbagai *umbrella terms* tersebut merepresentasikan *open-textured norms* (Dickinson, 2026; van Asselt dkk., 2025) yang menyediakan ruang normatif bagi penggunaan parameter biologis tanpa membatasi jenis organisme yang dapat diakomodasi dalam pengaturannya. Ruang normatif tersebut diperkuat oleh Pasal 272 ayat (2) huruf i PP Nomor 22 Tahun 2021 serta Pasal 5 ayat (3) huruf e dan Pasal 6 ayat (3) huruf d angka 1 PP Nomor 26 Tahun 2025 yang berfungsi sebagai *regulatory gateway* (Soininen dkk., 2023) untuk mengakomodasi perkembangan *scientific evidence* mengenai sensitivitas dan kapasitas ekologis serangga (Chowdhury dkk., 2023; Anamika dkk., 2024; Okeke dkk., 2024), sekaligus menyediakan landasan normatif untuk penerapan pendekatan *science-based regulation* dalam pemanfaatan serangga sebagai bioindikator kualitas lingkungan (Information Quality Act, 2000; Soininen dkk., 2023). Keberadaan konstruksi normatif tersebut menegaskan bahwa ketiadaan penyebutan kata 'serangga' secara eksplisit dalam regulasi formal tidak menunjukkan adanya *legal lacuna* pada tingkat norma dasar (Lauterpacht, 1958).

Meskipun berbagai regulasi tersebut telah menyediakan ruang normatif bagi pengakomodasian parameter biologis, bioindikator serangga belum dioperasionalkan dalam bentuk ketentuan teknis yang mengatur penggunaannya dalam sistem pemantauan dan penilaian kualitas lingkungan. Kondisi ini tetap ditemukan dalam PP Nomor 26 Tahun 2025 yang menjadi *temporal cutoff year* penelitian ini. Regulasi tersebut mengakomodasi aspek biologis melalui kewajiban inventarisasi data flora dan fauna dalam wilayah ekoregion (Pasal 6 ayat (4) huruf a angka 4), penggunaan metode kinerja jasa lingkungan hidup dalam penyusunan Daya Dukung dan Daya Tampung Lingkungan Hidup/DDDTLH (Pasal 21 huruf a), serta pengaturan restorasi, rehabilitasi, dan peningkatan kualitas ekosistem dan keanekaragaman hayati dalam RPPLH (Pasal 32 ayat (3) huruf c). Namun, berbagai ketentuan tersebut belum mengakomodasi biomonitoring maupun indeks biotik berbasis komunitas serangga sebagai instrumen penilaian kualitas lingkungan. Dengan demikian, posisi PP Nomor 26 Tahun 2025 menunjukkan bahwa *regulatory gap* terkait adopsi bioindikator serangga masih berlanjut hingga regulasi

lingkungan hidup nasional yang paling mutakhir.

Dari perspektif teori pembentukan hukum, *regulatory gap* yang teridentifikasi tidak menunjukkan kebutuhan akan pembentukan norma dasar yang baru. Sebaliknya, *regulatory gap* tersebut menunjukkan bahwa proses konkretisasi norma belum sepenuhnya menjangkau penggunaan serangga sebagai bioindikator dalam sistem pemantauan dan penilaian kualitas lingkungan. Temuan ini mengindikasikan bahwa *regulatory gap* yang teridentifikasi berada pada tataran operasionalisasi norma, bukan pada tataran norma dasar.

Regulatory gap pada tingkat pengaturan operasional tersebut perlu dianalisis dalam perspektif asas kehati-hatian (*precautionary principle*) sebagaimana diatur dalam Pasal 2 huruf f UU PPLH. Menurut penjelasan Pasal 2 huruf f UU PPLH, ketidakpastian akibat keterbatasan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi bukan alasan untuk menunda langkah meminimalisasi ancaman kerusakan lingkungan. Belum diakomodasinya bioindikator serangga dalam pemantauan teknis menyebabkan potensi pemanfaatannya untuk mendukung deteksi dini belum dimanfaatkan secara optimal. Keadaan ini menunjukkan bahwa pengembangan regulasi teknis belum sepenuhnya menerapkan *evidence-based environmental governance* guna mendukung implementasi asas kehati-hatian secara utuh dalam perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup (Armitage dkk., 2007; Fabricius & Currie, 2015; Ostrom, 1990).

Regulatory gap yang teridentifikasi juga relevan ditinjau dari asas kelestarian dan keberlanjutan sebagaimana diatur dalam Pasal 2 huruf b UU PPLH. Menurut Penjelasan Pasal 2 huruf b UU PPLH, asas tersebut menghendaki upaya pelestarian daya dukung ekosistem dan perbaikan kualitas lingkungan hidup sebagai bentuk tanggung jawab terhadap generasi mendatang maupun sesama dalam satu generasi. Sistem pemantauan lingkungan merupakan salah satu instrumen yang mendukung tercapainya tujuan tersebut. Dalam pelaksanaannya, bioindikator serangga dapat dimanfaatkan sebagai salah satu parameter pemantauan karena memiliki sejumlah karakteristik yang mendukung penilaian kondisi lingkungan. Urgensi pengakomodasian bioindikator serangga dalam sistem pemantauan dan penilaian kualitas lingkungan nasional tercermin dari karakteristiknya yang sensitif terhadap berbagai tekanan lingkungan, menempati berbagai tingkat trofik, memiliki kelimpahan yang tinggi, serta relatif mudah disampling sehingga mendukung penilaian kondisi ekosistem dan kualitas lingkungan (Anamika dkk., 2024; Chowdhury dkk., 2023; Okeke dkk., 2024). Relevansi tersebut sejalan dengan tujuan pelestarian daya dukung ekosistem dan perbaikan kualitas lingkungan hidup sebagaimana dikehendaki oleh asas kelestarian dan keberlanjutan.

Belum terakomodasinya pemanfaatan bioindikator serangga secara eksplisit dalam sistem regulasi nasional menunjukkan adanya *regulatory gap* yang perlu dikaji lebih lanjut. Dalam konteks tersebut, analisis perbandingan hukum (*comparative legal analysis*) dengan yurisdiksi maju yang telah mapan dalam menerapkan *science-based regulation* menjadi relevan untuk dilakukan (Information Quality Act, 2000; Soininen dkk., 2023). Dalam hal ini, Uni Eropa melalui WFD dan Amerika Serikat melalui CWA dipilih sebagai preseden komparatif karena kedua yurisdiksi tersebut berhasil mengintegrasikan parameter biologis berbasis makroinvertebrata , yang mencakup serangga sebagai salah satu kelompok penyusunnya, ke dalam norma hukum yang mengikat (European Parliament & Council, 2000).

Tabel 3. Perbandingan Regulasi Bioindikator Serangga di Indonesia, Uni Eropa, dan Amerika Serikat

Aspek Perbandingan	Indonesia	Uni Eropa	Amerika Serikat
Dasar Hukum	Merujuk pada UU No. 32/2009; PP No. 46/2016; PP No. 22/2021; PP No. 26/2025; Perpres No. 98/2021; Permen LHK No. 93/2018; Permen LHK No. 1/2021; Permen LHK No. 27/2021; Permen LHK No. 13/2024	Merujuk pada Water Framework Directive (WFD/Directive 2000/60/EC).	Merujuk pada Clean Water Act
Objek Bioindikator	Menetapkan komponen hayati dan parameter biologis secara umum (*umbrella terms*) tanpa menyebutkan kata 'makroinvertebrata' atau 'serangga' secara literal dalam regulasi formal, meskipun taksa serangga air telah diakomodasi secara teknis pada Petunjuk Teknis Restorasi Kualitas Air Sungai (KLHK).	Menetapkan biota perairan secara umum di tingkat *Directive* yang wajib diterjemahkan sebagai 'fauna invertebrata bentik' sebagai *Biological Quality Element* (Annex V WFD); meskipun istilah "serangga" tidak disebutkan secara eksplisit, berbagai kelompok serangga perairan tercakup dalam kategori fauna invertebrata bentik tersebut	Menetapkan organisme perairan (*aquatic biota*) secara umum pada undang-undang (CWA Section 502(15)) yang diterjemahkan sebagai 'makroinvertebrata bentos' sebagai objek bioasesmen; meskipun istilah "serangga" tidak disebutkan secara khusus, berbagai kelompok serangga perairan tercakup dalam kelompok makroinvertebrata bentos tersebut
Status Normatif	Memosisikan penggunaan serangga sebagai instrumen opsional (sukarela); acuan teknisnya baru dirintis dalam Petunjuk Teknis KLHK yang tidak memiliki kekuatan hukum mengikat secara umum.	Memosisikan penggunaan 'fauna invertebrata bentos' (mencakup serangga) sebagai kewajiban hukum yang bersifat mandatori; mandat hukun mengikat melalui Article 4, Article 8, jo. Annex V WFD untuk klasifikasi status ekologis	Memosisikan penggunaan 'makroinvertebrata bentos' (mencakup serangga) sebagai kewajiban hukum yang bersifat mandatori di tingkat federal; terikat pada konsep intergritas biologis (CWA Section 101(a)) melalui program bioasesmen EPA.

Metode/Standar	Belum ada Standar Nasional Indonesia (SNI) khusus	Terstandarisasi melalui *International Organization for Standardization* (ISO)/ *European Standard* (EN) (Annex V Bagian 1.3.6) & mekanisme Intercalibration Exercise di tingkat kawasan (Annex V Bagian 1.4.1)	Terstandarisasi secara teknis melalui protokol EPA yaitu *Rapid Bioassessment Protocols* (RBP) (Barbour dkk.); sesuai dengan mandat CWA Section 304(a)(8))
Lembaga	KLHK (Pusat) & Dinas Lingkungan Hidup (DLH) (Daerah); belum ada mandat wajib pemantauan rutin terkoordinasi secara nasional.	Penunjukan otoritas Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Article 3 WFD) & mekanisme pelaporan (Article 15 WFD).	Pembagian peran antara EPA (regulator federal/pedoman) dan otoritas lingkungan tingkat negara bagian (pelaksana).
Konsekuensi	Belum menjadi instrumen wajib dalam Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL), IKLH, atau PROPER	Hasil data menentukan ecological status, penyusunan *Programme of Measures* (Article 11 WFD), & pencapaian target (Article 4 WFD).	Data masuk dalam laporan CWA Section 305(b), penetapan kebijakan perairan, serta alat bukti dalam *citizen suit*.

Ketiga yurisdiksi sama-sama memiliki dasar hukum yang mengakomodasi aspek biologis dalam pengelolaan lingkungan hidup. Berdasarkan perbandingan regulasi pada Tabel 3, pengaturan mengenai serangga sebagai objek biomonitoring menunjukkan tingkat spesifikasi yang berbeda di ketiga yurisdiksi. Regulasi Indonesia pada umumnya masih menggunakan kategori biologis yang bersifat luas pada berbagai regulasi lingkungan (Tabel 2), seperti keanekaragaman hayati, biodiversitas, komponen hayati, dan fungsi ekologis, meskipun beberapa instrumen telah mengatur parameter biologis yang lebih spesifik, seperti *fecal coliform* dan klorofil-a. Pemanfaatan serangga, khususnya kelompok serangga air, sebagai bagian makroinvertebrata ditemukan secara eksplisit pada tingkat pedoman teknis melalui Petunjuk Teknis Restorasi Kualitas Air Sungai yang diterbitkan KLHK pada tahun 2017. Sebaliknya, Amerika Serikat dan Uni Eropa telah mengakomodasi kelompok organisme yang mencakup serangga sebagai objek bioindikator, masing-masing melalui kategori makroinvertebrata bentos/*benthic macroinvertebrates* (Barbour dkk., 1999) yang menerjemahkan mandat pemantauan *aquatic life* di bawah CWA Section 502(15) (33 U.S.C. § 1362(15)), serta fauna invertebrata bentos/*benthic invertebrate fauna* sebagaimana diatur dalam Annex V WFD (European Parliament & Council, 2000). Dengan demikian, perbedaan utama terletak bukan pada keberadaan parameter biologis spesifik, melainkan pada belum terintegrasinya kelompok organisme yang mencakup serangga sebagai objek bioindikator yang

diakui secara konsisten dalam kerangka regulasi Indonesia.

Pengakuan terhadap komponen biologis pada tingkat *statutory rule* menunjukkan tingkat spesifikasi pengaturan yang berbeda antar yurisdiksi. Di Amerika Serikat, *Clean Water Act* menempatkan pemulihan *biological integrity* sebagai salah satu tujuan utama pengelolaan kualitas perairan melalui Section 101(a) (33 U.S.C. § 1251(a)), yang selanjutnya didukung oleh Section 303(c)(2)(B) (33 U.S.C. § 1313(c)(2)(B)) dan Section 304(a)(8) (33 U.S.C. § 1314(a)(8)) sebagai dasar pengembangan kriteria berbasis *biological monitoring and assessment*. Di Uni Eropa, pengaturan yang sebanding tercermin dalam Article 4, Article 8, jo. Annex V Directive 2000/60/EC (*Water Framework Directive*), yang mensyaratkan pencapaian *Good Ecological Status* dengan menjadikan *benthic invertebrate fauna* sebagai salah satu *Biological Quality Elements* dalam penilaian kualitas ekologis perairan (European Parliament & Council, 2000). Sebagai bagian dari kelompok tersebut, berbagai serangga akuatik memperoleh dasar normatif untuk digunakan sebagai bioindikator dalam kegiatan biomonitoring. Meskipun di Indonesia telah tersedia ruang bagi pemanfaatan serangga sebagai bioindikator melalui umbrella term pada norma dasar dalam UU Nomor 32 Tahun 2009 tentang PPLH beserta peraturan pelaksananya, namun belum terdapat mandat *statutory* yang secara eksplisit mengakui atau mewajibkan penggunaan serangga dalam sistem pemantauan dan penilaian kualitas lingkungan hidup.

Pengakuan normatif terhadap penilaian biologis pada tingkat *statutory rule* selanjutnya dioperasionalkan secara lebih rinci melalui instrumen *implementing regulation*. Di Amerika Serikat, US EPA menerbitkan *Water Quality Standards Regulations* (40 CFR Part 131), khususnya 40 CFR § 131.11, yang mewajibkan negara bagian menetapkan kriteria biologis (*narrative or numeric biocriteria*) dalam standar kualitas air resmi. Di Uni Eropa, Komisi Eropa menerbitkan instrumen pelaksana yang mengikat seperti *Commission Decision (EU)* 2018/229 yang menetapkan nilai batas numerik *Ecological Quality Ratio* (EQR) (European Commission, 2018). Pada tahap ini, Indonesia mengalami *implementing regulatory gap* yang berlapis. Di tingkat Peraturan Pemerintah (PP No. 22 Tahun 2021 dan PP No. 26 Tahun 2025), norma yang didelegasikan dari UU PPLH masih berhenti pada *umbrella terms* tanpa memuat mandat kriteria operasional berbasis serangga. Ketiadaan mandat eksplisit tersebut berdampak pada belum terakomodasinya bioindikator serangga secara sistematis dalam berbagai peraturan menteri teknis pelaksananya. Mulai dari penetapan baku mutu dan Indeks Kualitas Air (Permen LHK No. 27 Tahun 2021), kriteria evaluasi ketaatan industri dalam PROPER (Permen LHK No. 1 Tahun 2021), kewajiban pemantauan kualitas air limbah industri baik melalui SPARING maupun pemantauan manual berkala (Permen LHK No. 93 Tahun 2018), hingga penentuan risiko keanekaragaman hayati dalam KLHS (Permen LHK No. 13 Tahun 2024) dominan masih berfokus pada parameter fisik-kimia dan belum mengadopsi indikator komunitas serangga sebagai instrumen penilaian ekologis.

Dalam Permen LHK Nomor 27 Tahun 2021 tentang Indeks Kualitas Lingkungan Hidup, formula perhitungan Indeks Kualitas Air sebagaimana diatur dalam Pasal 12 huruf a jo. Lampiran I Angka 3 secara eksklusif menggunakan delapan parameter yang didominasi parameter fisik-kimia, yaitu pH, *dissolved oxygen* (DO), *biochemical oxygen demand* (BOD), *chemical oxygen demand* (COD), *total suspended solids* (TSS), nitrat, dan total fosfat, serta satu parameter mikrobiologi berupa *fecal coliform*, tanpa mengakomodasi penggunaan serangga sebagai bioindikator kualitas

perairan. Dalam Permen LHK Nomor 1 Tahun 2021 tentang PROPER, penilaian ketaatan wajib pada aspek pengendalian pencemaran air sebagaimana diatur dalam Pasal 16 ayat (2) huruf a jo. Lampiran I masih bertumpu pada pemenuhan baku mutu air limbah yang berorientasi pada parameter fisik-kimia. Demikian pula, Permen LHK Nomor 93 Tahun 2018 tentang SPARING melalui Pasal 5 ayat (1) huruf b jo. Lampiran II dan Lampiran III membatasi parameter pemantauan otomatis pada pH, COD, TSS, NH3-N, dan debit, sedangkan ruang pemantauan manual berkala dalam Pasal 10 ayat (1) huruf a belum diikuti kewajiban pelaksanaan biomonitoring berbasis serangga. Sementara itu, dalam konteks perencanaan lingkungan, Permen LHK Nomor 13 Tahun 2024 tentang KLHS masih menitikberatkan penentuan *environmental baseline*, daya dukung, dan daya tampung lingkungan pada neraca fisik sumber daya dan beban pencemar sebagaimana tercermin dalam Lampiran III, sedangkan ketentuan mengenai risiko keanekaragaman hayati berdasarkan Pasal 26 huruf c belum disertai pedoman operasional yang mengakomodasi penggunaan serangga sebagai bioindikator. Dengan demikian, orientasi pengaturan pada tingkat operasional masih didominasi oleh pendekatan fisik-kimia sehingga pemanfaatan serangga sebagai instrumen penilaian ekologis belum terintegrasi secara sistematis dalam regulasi pelaksana.

Pada level agenda pembangunan nasional, bioindikator serangga juga belum memperoleh pengakuan yang eksplisit. Dalam dokumen Indikator Pembangunan Lingkungan Hidup RPJPN 2025-2045, indikator lingkungan pada IE 5 Penerapan Ekonomi Hijau masih berfokus pada parameter fisik-kimia (BOD dan NO_2), indikator emisi, serta indikator berbasis tutupan lahan, tanpa mengakomodasi penggunaan serangga sebagai bioindikator dalam parameter penilaian. (Bappenas, 2024). Selain itu, Indeks Pengelolaan Keanekaragaman Hayati Daerah (IPKD) masih didominasi oleh indikator berbasis tutupan lahan dan pengelolaan kawasan, sehingga lebih menekankan aspek spasial dibandingkan respons biologis organisme terhadap perubahan kualitas lingkungan (Bappenas, 2024). Hal ini menunjukkan bahwa keterbatasan integrasi bioindikator serangga tidak hanya terjadi pada tingkat regulasi pelaksana, tetapi juga pada instrumen pengukuran kinerja pembangunan lingkungan hidup yang digunakan dalam agenda pembangunan nasional.

Pada aras operasional, pelaksanaan biomonitoring di Amerika Serikat dan Uni Eropa tidak hanya didukung oleh regulasi pelaksana, tetapi juga oleh *technical guidance* yang memberikan arahan metodologis secara rinci. Di Amerika Serikat, US EPA menerbitkan *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers* (EPA 841-B-99-002) dan *Biological Criteria: Technical Guidance for Streams and Small Rivers* (EPA 822-B-96-001) yang memuat pedoman pemilihan lokasi, pengambilan sampel, identifikasi organisme, serta interpretasi kondisi ekologis berdasarkan komunitas makroinvertebrata yang mencakup berbagai kelompok serangga akuatik (Barbour dkk., 1999; Gibson dkk., 1996). Di Uni Eropa, fungsi yang serupa dijalankan melalui *Common Implementation Strategy (CIS) Guidance Documents*, termasuk *Guidance Document No. 6* mengenai pembentukan jaringan interkalibrasi dan proses pelaksanaan *intercalibration exercise* dan *Guidance Document No. 14* mengenai proses interkalibrasi (European Commission, 2003, 2011). Sebaliknya, di Indonesia, penggunaan serangga sebagai bioindikator baru ditemukan secara terbatas pada tingkat pedoman teknis melalui *Petunjuk Teknis Restorasi Kualitas Air Sungai* yang diterbitkan KLHK pada tahun 2017. Namun, pedoman tersebut masih bersifat sektoral dan belum berkembang menjadi

pedoman nasional biomonitoring yang terintegrasi untuk mendukung sistem pemantauan dan penilaian kualitas lingkungan hidup.

Pada tingkat *technical standard*, Amerika Serikat dan Uni Eropa telah mengembangkan instrumen yang menjamin keseragaman metode biomonitoring dan keterbandingan hasil penilaian ekologis. Di Amerika Serikat, prosedur pengambilan sampel, *subsampling*, identifikasi taksonomi serta penjaminan mutu data biologis makroinvertebrata bentos distandarisasi melalui *USGS Open-File Report 93-407* (Cuffney dkk., 1993). Di Uni Eropa, standar metodologis tersebut diwujudkan melalui EN ISO 8689-1 dan EN ISO 8689-2 yang mengatur interpretasi dan penyajian data biologis dari survei makroinvertebrata bentik (European Parliament & Council, 2000). Keterbandingan hasil penilaian ekologis di Uni Eropa tersebut selanjutnya dijamin melalui mekanisme *Intercalibration Exercise* berdasarkan Annex V point 1.4.1 WFD, yang mengkalibrasi dan menyelaraskan ambang batas numerik *Ecological Quality Ratio* (EQR) lintas negara anggota agar menghasilkan penetapan status ekologis yang setara (European Parliament & Council, 2000).

Sementara, Indonesia hingga saat ini belum memiliki standar nasional yang secara khusus mengatur biomonitoring berbasis serangga. Berbagai penelitian ekologis telah menggunakan beragam indeks biotik seperti *Family Biotic Index* (FBI), *Hilsenhoff Family Biotic Index* (HFBI), *Biological Monitoring Working Party* (BMWP), *Stream Invertebrate Grade Number-Average Level* (SIGNAL 2 Grade), berbagai indeks keanekaragaman, serta indeks multimetrik seperti *Macroinvertebrate Index of Biotic Integrity* (M-IBI) untuk menilai kualitas lingkungan (Buchori dkk., 2018; Diantari dkk., 2017; Ibrahim & Sjarmidi, 2017; Nuraeni dkk., 2019; Suheriyanto dkk., 2020; Trianto dkk., 2020; Wijaya dkk., 2025). Meskipun menunjukkan perkembangan metodologis yang positif, penggunaan indeks yang beragam tersebut belum diikuti mekanisme standardisasi nasional yang menetapkan prosedur pengambilan sampel, identifikasi taksonomi, pemilihan indeks, maupun interpretasi hasil secara seragam. Akibatnya, keterbandingan data biomonitoring antarpenelitian dan antarwilayah masih relatif terbatas.

Dari sisi kelembagaan, ketiga yurisdiksi sama-sama melibatkan institusi pemerintah dalam pelaksanaan biomonitoring, tetapi menunjukkan perbedaan dalam pengaturan kewenangan dan mekanisme koordinasinya. Di Indonesia, pelaksanaan pemantauan lingkungan berada di bawah kewenangan KLHK pada tingkat pusat dan DLH pada tingkat daerah. Namun, belum terdapat mandat yang secara khusus mewajibkan pemantauan biomonitoring berbasis serangga secara rutin dan terkoordinasi dalam skala nasional. Sebaliknya, Amerika Serikat menerapkan pembagian peran yang lebih terstruktur di bawah doktrin Federalisme Kooperatif, di mana EPA bertindak sebagai regulator federal (CWA Section 101(d), 33 U.S.C. § 1251(d); Section 304(a)(8), 33 U.S.C. § 1314(a)(8)) dan otoritas negara bagian bertindak sebagai pelaksana pemantauan lapangan (CWA Section 101(b), 33 U.S.C. § 1251(b); Section 303(d), 33 U.S.C. § 1313(d)). Sementara itu, Uni Eropa mengatur pelaksanaan pemantauan melalui otoritas pengelolaan daerah aliran sungai sebagaimana diatur dalam Article 3 WFD, yang didukung mekanisme pelaporan berkala kepada Komisi Eropa berdasarkan Article 15 WFD (European Parliament & Council, 2000). Perbandingan ini menunjukkan bahwa tata kelola biomonitoring di Amerika Serikat dan Uni Eropa telah ditopang oleh mekanisme kelembagaan dan koordinasi yang lebih formal, sedangkan di Indonesia pelaksanaannya masih bergantung pada kewenangan umum instansi lingkungan

hidup tanpa pengaturan khusus mengenai biomonitoring berbasis serangga.

Konsekuensi hukum penggunaan biomonitoring berbasis serangga juga berbeda di ketiga yurisdiksi. Di Indonesia, hasil biomonitoring berbasis serangga belum menjadi instrumen yang wajib digunakan dalam ANDAL, IKLH, maupun PROPER. Dalam instrumen AMDAL, khususnya pada penyusunan dokumen ANDAL (Pasal 39 ayat (2) huruf c jo. Lampiran II PP No. 22 Tahun 2021), norma regulasi masih membatasi telaah aspek hayati pada *umbrella terms* berupa deskripsi rona lingkungan hidup awal pada komponen biologi, sehingga dalam praktik penyusunan dokumen lingkungan, data serangga sebagai indikator biologis umumnya hanya disajikan sebagai informasi deskriptif tanpa diwajibkan adanya penilaian dampak biologis yang terukur maupun integrasinya ke dalam Rencana Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Rencana Pemantauan Lingkungan Hidup (RKL-RPL). Ketiadaan konsekuensi hukum tersebut berlanjut dalam instrumen IKLH (Permen LHK No. 27 Tahun 2021), karena formulasi Indeks Kualitas Air (Pasal 12 huruf a jo. Lampiran I Angka 3) secara limitatif hanya menggunakan parameter fisik-kimia dan mikrobiologi, sehingga data biomonitoring serangga tidak memengaruhi penetapan status mutu air. Kondisi serupa juga terlihat dalam mekanisme PROPER (Permen LHK No. 1 Tahun 2021), di mana penilaian ketaatan pada peringkat Biru (Pasal 16 ayat (2) huruf a jo. Lampiran I) bertumpu pada pemenuhan baku mutu air limbah di titik pelepasan (*end-of-pipe*), tanpa mewajibkan pemantauan respons biologis melalui struktur komunitas serangga akuatik pada badan air penerima limbah.

Sebaliknya, di Amerika Serikat data biomonitoring berbasis makroinvertebrata yang mencakup serangga sebagai komponen penyusunnya telah digunakan dalam pelaporan kualitas perairan berdasarkan CWA Section 305(b) 33 U.S.C. § 1315(b), menjadi dasar pengelolaan kualitas perairan, serta dapat dimanfaatkan sebagai alat bukti dalam mekanisme *citizen suit* berdasarkan CWA Section 505 33 U.S.C. § 1365. Di Uni Eropa, hasil biomonitoring tersebut menjadi dasar penentuan *ecological status*, penyusunan *Programme of Measures* berdasarkan Article 11 WFD, dan evaluasi pencapaian target lingkungan berdasarkan Article 4 WFD. Sejalan dengan keunggulan tersebut. Perbandingan ini menunjukkan bahwa biomonitoring berbasis serangga di Indonesia masih memiliki konsekuensi regulatif yang terbatas, sedangkan di Amerika Serikat dan Uni Eropa telah terhubung secara langsung dengan pengambilan keputusan, pengelolaan lingkungan, dan pemenuhan kewajiban hukum.

Meskipun demikian, keterbatasan konsekuensi regulatif tersebut tidak berarti bahwa sistem hukum lingkungan Indonesia menutup kemungkinan adopsi biomonitoring berbasis serangga. Dalam mekanisme pelaporan status lingkungan hidup, Pasal 484 ayat (5) huruf f PP Nomor 22 Tahun 2021 masih membuka ruang bagi penggunaan indeks "lainnya sesuai dengan ilmu pengetahuan dan perkembangan teknologi". Ketentuan ini menunjukkan bahwa kerangka hukum lingkungan hidup Indonesia belum bersifat tertutup terhadap pengembangan indikator biologis baru, termasuk biomonitoring berbasis serangga.

Temuan komparatif tersebut menunjukkan bahwa tantangan utama di Indonesia tidak terletak pada ketiadaan ruang hukum bagi adopsi biomonitoring berbasis serangga, melainkan pada belum belum adanya pengaturan operasional yang mengintegrasikan pemanfaatan bioindikator serangga ke dalam kerangka regulasi, standardisasi metode, tata kelola kelembagaan, dan mekanisme pengambilan keputusan lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan rekomendasi

penguatan regulasi dan kelembagaan untuk mendukung implementasi biomonitoring berbasis serangga secara lebih sistematis dalam sistem perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup di Indonesia.

3.3 Rekomendasi Penguatan Regulasi Penggunaan Bioindikator Serangga di Indonesia

a. Rekomendasi *De Lege Lata*

Penguatan biomonitoring berbasis serangga dalam kerangka *de lege lata* perlu diarahkan pada optimalisasi instrumen hukum dan kapasitas teknis yang telah tersedia dalam sistem hukum lingkungan hidup Indonesia. Meskipun pengaturan mengenai biomonitoring berbasis serangga belum terintegrasi secara komprehensif dalam sistem hukum lingkungan hidup Indonesia, *scientific evidence* dari berbagai penelitian ekologis (Diantari dkk., 2017; Ibrahim & Sjarmidi, 2017; Buchori dkk., 2018; Nuraeni dkk., 2019; Suci, 2016; Suheriyanto dkk., 2020; Trianto dkk., 2020; Wijaya dkk., 2025) menunjukkan bahwa berbagai metode biomonitoring berbasis serangga telah berkembang dan memiliki landasan metodologis yang memadai untuk diterapkan secara lebih luas dalam praktik pengelolaan lingkungan. Pembelajaran dari Amerika Serikat dan Uni Eropa menunjukkan bahwa efektivitas biomonitoring tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan metode ilmiah, tetapi juga oleh keberadaan standar teknis yang mampu menjamin konsistensi pelaksanaan dan keterbandingan hasil pemantauan. Hal ini tercermin dari pengembangan protokol standar EPA di Amerika Serikat (Barbour dkk., 1999) guna memenuhi mandat pemulihan integritas biologis dalam CWA serta pelaksanaan mekanisme standardisasi metode sampling ISO/EN dan Intercalibration Exercise di Uni Eropa sebagaimana diatur dalam WFD (European Parliament & Council, 2000). Oleh karena itu, prioritas penguatan biomonitoring berbasis serangga di Indonesia perlu diarahkan pada standardisasi dan harmonisasi metode yang telah tersedia guna menjamin konsistensi penerapan, keterbandingan hasil, dan integrasi data dalam sistem pengelolaan lingkungan hidup.

Urgensi penyusunan standar nasional biomonitoring berbasis serangga tercermin dari kenyataan bahwa berbagai penelitian di Indonesia masih menggunakan metode dan indeks yang beragam, seperti FBI, HFBI, BMWP, SIGNAL 2 Grade, berbagai indeks keanekaragaman, serta indeks multimetrik seperti M-IBI yang telah dikembangkan pada kondisi lokal Indonesia ilmiah (Diantari dkk., 2017; Ibrahim & Sjarmidi, 2017; Buchori dkk., 2018; Nuraeni dkk., 2019; Suci, 2016; Suheriyanto dkk., 2020; Trianto dkk., 2020; Wijaya dkk., 2025). Keragaman pendekatan tersebut menunjukkan perkembangan metodologis yang positif, namun pada saat yang sama berpotensi menimbulkan perbedaan interpretasi terhadap kualitas lingkungan dan menyulitkan keterbandingan data antarwilayah (Monaghan, 2016). Oleh karena itu, standardisasi melalui protokol pengambilan sampel, kriteria pemilihan metode, prosedur analisis, serta mekanisme interpretasi hasil yang sistematis dan terverifikasi menjadi syarat penting untuk menjamin konsistensi serta keterulangan (*repeatability*) data biomonitoring (Nuraeni dkk., 2019). Standardisasi tersebut diperlukan untuk menghasilkan data biologis yang akurat, reliabel, dan memiliki tingkat komparabilitas yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai dasar ilmiah dalam pengambilan keputusan dan perumusan kebijakan lingkungan hidup (Rosner dkk., 2024).

Pada tingkat teknis, penyusunan standar nasional biomonitoring berbasis serangga dapat dilakukan melalui kerja sama antara Badan Standardisasi Nasional

(BSN), perguruan tinggi, dan lembaga penelitian yang memiliki kompetensi di bidang biomonitoring, entomologi, dan ekologi. Standar tersebut dapat menjadi acuan nasional dalam pelaksanaan pengambilan sampel, analisis data, interpretasi hasil, dan pelaporan biomonitoring guna meningkatkan konsistensi serta keterbandingan data lingkungan.

Selain standardisasi teknis, penguatan biomonitoring berbasis serangga juga memerlukan penyusunan pedoman teknis nasional (*technical guidance*) yang dapat digunakan secara seragam oleh kementerian/lembaga, pemerintah daerah, perguruan tinggi, pelaku usaha, dan masyarakat. Kebutuhan tersebut sejalan dengan ruang normatif dalam Pasal 6 ayat (3) huruf d angka 1 PP Nomor 26 Tahun 2025 yang mengakomodasi penggunaan data dan informasi hasil perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, serta Pasal 484 ayat (5) PP Nomor 22 Tahun 2021 yang membuka kemungkinan penggunaan indikator lain sesuai perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam penilaian kualitas lingkungan hidup. Pedoman teknis tersebut perlu memuat tata cara pemilihan kelompok bioindikator, metode pengambilan sampel, prosedur identifikasi taksonomi, pengolahan dan interpretasi data, pengendalian mutu, serta mekanisme pelaporan hasil biomonitoring. Keberadaan pedoman teknis penting untuk menjembatani norma hukum yang bersifat umum dengan pelaksanaan biomonitoring di lapangan sehingga menghasilkan data yang konsisten, dapat diperbandingkan, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Dalam konteks ini, pedoman tersebut dapat berfungsi serupa dengan *Rapid Bioassessment Protocols* yang dikembangkan oleh US EPA (Barbour dkk., 1999) maupun *Common Implementation Strategy Guidance Documents* dalam kerangka *Water Framework Directive* di Uni Eropa (European Commission, 2003, 2011), dengan tetap disesuaikan terhadap karakteristik ekosistem dan keanekaragaman serangga di Indonesia.

Di samping itu, juga pendekatan yang kolaboratif dan partisipatif dalam upaya optimalisasi biomonitoring berbasis serangga. Keterlibatan masyarakat bersama akademisi, pemerintah, dan organisasi lingkungan juga perlu didorong dalam kegiatan pemantauan serangga bioindikator. Partisipasi berbagai pemangku kepentingan dapat memperluas cakupan pengumpulan data dan meningkatkan efektivitas pemantauan lingkungan (Fraisl dkk., 2022). Keterlibatan masyarakat melalui pendekatan *citizen science* berpotensi meningkatkan kesadaran publik terhadap pentingnya konservasi keanekaragaman hayati sekaligus menghasilkan data pendukung bagi program biomonitoring (Aminudin, 2020). Sementara itu, akademisi berperan dalam pengembangan metodologi dan analisis ilmiah, pemerintah dalam penyediaan dukungan regulasi dan pendanaan, serta organisasi lingkungan dalam memfasilitasi kolaborasi dan edukasi kepada masyarakat (Aminudin, 2020). Sinergi antaraktor tersebut menjadi faktor penting untuk mewujudkan sistem biomonitoring berbasis serangga yang berkelanjutan, partisipatif, dan adaptif terhadap berbagai tantangan lingkungan (Aminudin, 2020; Fraisl dkk., 2022).

Meskipun berbagai langkah tersebut dapat dilaksanakan dalam kerangka hukum yang berlaku saat ini, penguatan biomonitoring berbasis serangga secara optimal tetap memerlukan pembenahan pada tingkat regulasi. Standardisasi metode dan penguatan kapasitas kelembagaan hanya akan memiliki daya guna yang terbatas apabila belum diikuti oleh integrasi biomonitoring berbasis serangga ke dalam instrumen hukum lingkungan yang bersifat mengikat. Oleh karena itu,

diperlukan langkah penguatan regulasi yang lebih mendasar melalui pendekatan *de lege ferenda*.

b. Rekomendasi *De Lege Ferenda*

Pengalaman Amerika Serikat dan Uni Eropa menunjukkan bahwa efektivitas biomonitoring tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan standar teknis, tetapi juga oleh pengakuan normatif yang mengintegrasikan biomonitoring ke dalam sistem pengelolaan lingkungan hidup. Sebaliknya, di Indonesia, biomonitoring berbasis serangga masih berfungsi terutama sebagai instrumen ilmiah dan belum menjadi bagian yang terintegrasi dalam instrumen perencanaan, penilaian, maupun pengawasan lingkungan hidup. Oleh karena itu, selain penguatan pada tingkat implementasi, diperlukan reformulasi pengaturan melalui pendekatan *de lege ferenda* untuk memperkuat kedudukan biomonitoring berbasis serangga dalam sistem hukum lingkungan hidup Indonesia. Reformulasi tersebut dapat dilakukan melalui tiga arah utama, yaitu integrasi biomonitoring berbasis serangga ke dalam instrumen perencanaan lingkungan, reformasi sistem penilaian kualitas lingkungan nasional, serta optimalisasi mekanisme pengawasan dan evaluasi kepatuhan lingkungan hidup.

a. Integrasi Normatif dalam Regulasi Perencanaan Lingkungan

Secara de lege ferenda, direkomendasikan untuk melakukan amendemen atau penyisipan norma baru dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan PPLH agar regulasi tersebut secara eksplisit mengakomodasi biomonitoring berbasis serangga sebagai salah satu instrumen penilaian kualitas lingkungan hidup. Pengaturan tersebut diperlukan untuk memberikan landasan normatif bagi penggunaan parameter biologis berbasis serangga dalam kegiatan perencanaan, pemantauan, evaluasi, dan pengambilan keputusan lingkungan. Landasan normatif tersebut selanjutnya perlu dioperasionalkan melalui berbagai instrumen perencanaan lingkungan hidup, terutama KLHS dan Analisis Dampak Lingkungan Hidup (ANDAL), yang berfungsi menghasilkan data dasar dan prediksi dampak lingkungan sebagai dasar pengambilan keputusan lingkungan.

Pada instrumen KLHS sebagaimana diatur dalam PP Nomor 46 Tahun 2016 tentang Tata Cara Penyelenggaraan KLHS, ketentuan Lampiran III Permen LHK Nomor 13 Tahun 2024 sebagai regulasi pelaksananya perlu disempurnakan dengan menambahkan kewajiban inventarisasi data bioindikator berbasis serangga dalam penyusunan *environmental baseline*. Kewajiban serupa juga perlu diakomodasi dalam penyusunan dokumen ANDAL sebagaimana dimaksud dalam Pasal 41 Ayat (3) huruf d PP Nomor 22 Tahun 2021. Pengaturan tersebut penting agar penentuan daya dukung, daya tampung, dan batas ekologis (*ecological boundary*) tidak hanya didasarkan pada parameter fisik dan kimia, tetapi juga mempertimbangkan kondisi biologis. Dengan demikian, KLHS dan ANDAL dapat menghasilkan penilaian lingkungan yang lebih komprehensif, terukur, dan berbasis bukti ilmiah (*evidence-based environmental assessment*) (Soininen dkk., 2023).

Data biologis yang dihasilkan melalui KLHS dan ANDAL tersebut selanjutnya perlu diintegrasikan ke dalam instrumen perencanaan lingkungan hidup berdasarkan PP Nomor 26 Tahun 2025. Dalam implementasi PP Nomor 26 Tahun 2025, bioindikator serangga perlu diintegrasikan secara bertahap melalui inventarisasi data flora dan fauna pada Inventarisasi Lingkungan Hidup (Pasal 6 ayat (4) huruf a angka 4), diadopsi sebagai metode penilaian kondisi ekologis dalam DDDTLH melalui ruang normatif Pasal 21 huruf c, serta digunakan sebagai

parameter evaluasi pemeliharaan, rehabilitasi, restorasi, dan peningkatan kualitas lingkungan dalam RPPLH berdasarkan Pasal 32 ayat (3) huruf b dan huruf c.

b. Reformasi Instrumen Penilaian Kualitas Lingkungan Nasional

Pasal 484 ayat (2) PP Nomor 22 Tahun 2021 mengatur bahwa laporan status lingkungan hidup harus memuat informasi mengenai faktor pemicu, tekanan, status dan kondisi lingkungan, dampak, serta respons terhadap perubahan lingkungan. Selanjutnya, Pasal 484 ayat (5) menentukan bahwa status dan kondisi lingkungan diukur melalui Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) yang meliputi indeks kualitas air, udara, air laut, tutupan lahan, ekosistem gambut, dan indikator lainnya sesuai dengan ilmu pengetahuan dan perkembangan teknologi. Frasa "indikator lainnya sesuai dengan ilmu pengetahuan dan perkembangan teknologi" merupakan *regulatory gateway* yang memungkinkan pengembangan parameter penilaian kualitas lingkungan berdasarkan kemajuan ilmu pengetahuan.

Sejalan dengan ketentuan tersebut, Peraturan Menteri LHK Nomor 27 Tahun 2021 tentang IKLH direkomendasikan untuk direvisi, khususnya ketentuan mengenai parameter kualitas lingkungan hidup sebagaimana diatur dalam Pasal 10 yang digunakan dalam perhitungan kualitas lingkungan hidup berdasarkan Pasal 11. Parameter yang digunakan saat ini masih terbatas pada parameter fisik, kimia, spasial, dan indikator biologis tertentu (*fecal coliform* dan *klorofil-a*), sehingga belum mengakomodasi pemanfaatan komunitas serangga sebagai bioindikator kualitas lingkungan. Oleh karena itu, perlu ditambahkan parameter biologis berbasis serangga dalam mekanisme penilaian kualitas lingkungan. Implementasinya dapat disesuaikan dengan karakteristik ekosistem yang dinilai melalui penggunaan indeks biotik yang relevan, seperti *Macroinvertebrate Index of Biotic Integrity* (M-IBI) berbasis komunitas makroinvertebrata bentos yang didominasi taksa serangga air pada ekosistem perairan, serta indeks komunitas serangga terestrial pada lahan pascatambang dan agroekosistem.

Penambahan parameter tersebut akan memperkuat pengukuran status dan kondisi lingkungan sekaligus mendukung penyusunan respons kebijakan terhadap tekanan, status, dan dampak perubahan lingkungan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 484 ayat (7) PP Nomor 22 Tahun 2021.

c. Optimalisasi Pengawasan Kepatuhan Industri melalui PROPER (Permen LHK No. 1 Tahun 2021)

Permen LHK Nomor 1 Tahun 2021 tentang PROPER perlu disempurnakan dengan mengintegrasikan biomonitoring berbasis serangga ke dalam sistem penilaian kinerja lingkungan perusahaan. Revisi perlu diarahkan pada ketentuan penilaian ketaatan dalam Pasal 16 ayat (2) huruf a angka 1 mengenai pengendalian pencemaran air, angka 2 mengenai pemeliharaan sumber air, angka 3 mengenai pengendalian pencemaran udara, dan angka 7 mengenai pengendalian kerusakan lahan, jo. Pasal 17, Pasal 18 ayat (1) huruf a, Pasal 19 ayat (1) huruf a, serta Lampiran I Permen LHK Nomor 1 Tahun 2021 tentang PROPER. Ketentuan tersebut saat ini masih menitikberatkan penilaian pada pemenuhan baku mutu dan persyaratan pengelolaan lingkungan berbasis parameter fisika-kimia. Penambahan biomonitoring berbasis serangga sebagai parameter evaluasi biologis relevan untuk melengkapi mekanisme penilaian tersebut, mengingat serangga mampu merefleksikan respons ekologis terhadap perubahan kondisi lingkungan yang tidak selalu dapat ditangkap melalui parameter fisik dan kimia semata (Handinata & Muntalif, 2017; Ibrahim & Sjarmidi, 2017; Nugraha dkk., 2024; Ratnasari dkk.,

2023).

Selain pada aspek ketaatan lingkungan, biomonitoring berbasis serangga juga perlu diintegrasikan ke dalam aspek perlindungan keanekaragaman hayati sebagaimana diatur dalam Pasal 16 ayat (2) huruf b angka 3 huruf f dan dijabarkan lebih lanjut dalam Lampiran III Permen LHK Nomor 1 Tahun 2021 tentang PROPER. Meskipun aspek perlindungan keanekaragaman hayati telah menjadi bagian dari penilaian PROPER, pengaturan tersebut masih ditempatkan dalam kategori *Beyond Compliance* yang berlaku bagi peringkat Hijau dan Emas serta belum secara eksplisit mengakui biomonitoring berbasis serangga sebagai instrumen penilaian ekologis. Oleh karena itu, ketentuan tersebut perlu disempurnakan dengan menambahkan biomonitoring berbasis serangga sebagai salah satu indikator penilaian dalam aspek perlindungan keanekaragaman hayati.

Integrasi biomonitoring berbasis serangga ke dalam PROPER akan memperkuat kemampuan instrumen tersebut dalam mengevaluasi tidak hanya tingkat kepatuhan terhadap ketentuan lingkungan hidup, tetapi juga respons ekologis dan kondisi keanekaragaman hayati yang mencerminkan hasil nyata pengelolaan lingkungan di lapangan.

d. Penguatan Sistem Pemantauan Kualitas Air Limbah (Permen LHK No. 93 Tahun 2018)

Ketentuan Pasal 10 ayat (1) huruf a Permen LHK No. 93 Tahun 2018 perlu disempurnakan dengan memasukkan biomonitoring berbasis serangga sebagai bagian dari kewajiban pemantauan berkala terhadap parameter yang tidak dapat dipantau secara terus-menerus melalui Sistem Pemantauan Kualitas Air Limbah Secara Terus-Menerus dan Dalam Jaringan (SPARING). Dengan demikian, sistem pemantauan lingkungan tidak hanya berorientasi pada parameter fisik dan kimia, tetapi juga mampu mengakomodasi penilaian kondisi ekologis berdasarkan respons biologis organisme terhadap perubahan lingkungan.

Reformulasi pengaturan sebagaimana diuraikan di atas diharapkan mampu memberikan pengakuan normatif yang lebih kuat terhadap biomonitoring berbasis serangga dalam sistem hukum lingkungan hidup Indonesia. Biomonitoring berbasis serangga tidak hanya ditempatkan sebagai instrumen penelitian ilmiah, tetapi juga sebagai bagian integral dari mekanisme perencanaan, pengambilan keputusan, pemantauan, pengawasan, dan evaluasi lingkungan hidup. Penguatan tersebut diharapkan mampu mendorong terwujudnya *evidence-based environmental governance* yang berorientasi pada perlindungan fungsi ekologis lingkungan secara berkelanjutan (Armitage dkk., 2007; Fabricius & Currie, 2015; Ostrom, 1990).

4. SIMPULAN

Pemanfaatan serangga sebagai bioindikator kualitas lingkungan telah didukung oleh bukti ilmiah yang memadai dan memiliki landasan normatif dalam sistem hukum lingkungan hidup Indonesia, sehingga tidak terdapat *legal lacuna* dalam pengaturannya. Namun, penelitian ini menemukan adanya *regulatory gap* pada tingkat operasional dan teknis karena biomonitoring berbasis serangga belum terintegrasi secara memadai ke dalam instrumen penilaian, pemantauan, dan evaluasi lingkungan hidup yang memiliki konsekuensi regulatif. Analisis komparatif menunjukkan bahwa Amerika Serikat dan Uni Eropa telah mengintegrasikan biomonitoring berbasis organisme yang mencakup serangga ke dalam sistem hukum lingkungan yang mengikat. Oleh karena itu, penguatan biomonitoring

berbasis serangga di Indonesia perlu dilakukan melalui optimalisasi instrumen yang telah tersedia serta penyempurnaan pengaturan teknis yang mengintegrasikannya ke dalam instrumen perencanaan, pemantauan, pengawasan, dan evaluasi lingkungan hidup guna mendukung *evidence-based environmental governance*.

DAFTAR PUSTAKA

Alves, D., Teixeira, F. B., Teófilo, M. N. G., Camilo-Cotrim, C. F., Silva, J. A. de P., Almeida, L. M., & Bailão, E. F. L. C. (2024). Use of Ecotoxicological Bioindicators in Effluent Monitoring Legal Implications in Brazil. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, *29*. https://doi.org/10.1590/s1413-415220230054

Aminudin, C. (2020). Peranan Sains Warga Dalam Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. *Jurnal Ekologi Masyarakat Dan Sains*, *1*(2), 22–30. https://doi.org/10.55448/ems.v1i2.8

Anamika, A., Singh, M. K., Khan, A. A., Kumari, V., Meena, S., & Lata, R. K. (2024). Biotic Indices Freshwater Ecosystems Using Aquatic Entomofauna as a Bioindicator. *Journal of Applied Bioscience*, *50*(1), 1–13. https://doi.org/10.61081/joab/50v1i101

Armitage, D., Berkes, F., & Doubleday, N. (Eds.). (2007). *Adaptive co-management: Collaboration, learning, and multi-level governance*. UBC Press. https://doi.org/10.59962/9780774855457

Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B. (1999). Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish (2nd ed., EPA 841-B-99-002). U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water. https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=20004OQK.txt

Buchori, D., Rizali, A., Rahayu, G. A., & Mansur, I. (2018). Insect diversity in post-mining areas: Investigating their potential role as bioindicator of reclamation success. *Biodiversitas*, *19*(5), 1696–1702. https://doi.org/10.13057/biodiv/d190515

Chowdhury, S., Dubey, V., Choudhury, S., Das, A., Jeengar, D., Sujatha, D., Kumar, A., Kumar, N., Semwal, A., & Kumar, V. (2023). Insects as bioindicator: A hidden gem for environmental monitoring. *Frontiers in Environmental Science*, *11*, 1146052. https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1146052

Cuffney, T. G., Gurtz, M. E., & Meador, M. R. (1993). *Guidelines for processing and quality assurance of benthic invertebrate samples collected as part of the National Water-Quality Assessment Program* (USGS Open-File Report 93-407). U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/ofr93407

Diantari, N. P. R., Ahyadi, H., Rohyani, I. S., & Suana, I. W. (2017). Diversity of Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera as bioindicator of water quality in Jangkok River, West Nusa Tenggara. *Jurnal Entomologi Indonesia*, *14*(3), 135–142. https://doi.org/10.5994/jei.14.3.135

Dickinson, G. M. (2026). Law proofing the future. *Harvard Journal on Legislation*, *63*, 81–136. https://journals.law.harvard.edu/jol/wp-content/uploads/sites/86/2026/01/03-HLL-63-1_Dickinson81-136.pdf

European Commission. (2003). *Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC): Guidance document no. 6: Towards a guidance on establishment of the intercalibration network and on the process*

on the intercalibration exercise. Office for Official Publications of the European Communities. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/publicaciones/Guia6_tcm30-163001.pdf

European Commission. (2011). *Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC): Guidance document no. 14: Guidance document on the intercalibration process 2008–2011* (Technical Report - 2011 - 045). Office for Official Publications of the European Communities https://circabc.europa.eu/sd/a/61fbcb5b-eb52-44fd-810a-63735d5e4775/IC_GUIDANCE_FINAL_16Dec2010.pdf

European Commission. (2018). Commission Decision (EU) 2018/229 of 12 February 2018 establishing, pursuant to Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council, the values of the Member State monitoring system classifications as a result of the intercalibration exercise and repealing Commission Decision 2013/480/EU. *Official Journal of the European Union*, L 47, 1–91. http://data.europa.eu/eli/dec/2018/229/oj

European Parliament, & Council of the European Union. (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, L 327, 1–73. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060

Fabricius, C., & Currie, B. (2015). Adaptive co-management. In C. R. Allen & A. S. Garmestani (Eds.), *Adaptive management of social-ecological systems* (pp. 147–179). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9682-8_9

Fraisl, D., Hager, G., Bedessem, B., Gold, M. M., Hsing, P., Danielsen, F., Hitchcock, C., Hulbert, J. M., Piera, J., Spiers, H., Thiel, M., & Haklay, M. (2022). Citizen Science in Environmental and Ecological Sciences. *Nature Reviews Methods Primers*, *2*(1). https://doi.org/10.1038/s43586-022-00144-4

Gibson, G. R., Barbour, M. T., Stribling, J. B., Gerritsen, J., & Karr, J. R. (1996). Biological criteria: Technical guidance for streams and small rivers (revised edition, EPA 822-B-96-001). U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water. https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=20003GSJ.txt

Handinata, L., & Muntalif, B. S. (2017). Bioassessment Kualitas Air Sungai Cikaro Kabupaten Bandung Menggunakan Status Ekologi. *Jurnal Teknik Lingkungan*, *23*(2), 23–32. https://doi.org/10.5614/j.tl.2016.23.2.3

Ibrahim, A., & Sjarmidi, A. (2017). Pengembangan Metode Bioasesmen Untuk Penilaian Kualitas Air Sungai Cihampelas Di DAS Citarum. *Jurnal Sumber Daya Air*, *13*(1), 37–52. https://doi.org/10.32679/jsda.v13i1.173

Information Quality Act, Pub. L. No. 106-554, § 515, 114 Stat. 2763A-153–154 (2000) (codified at 44 U.S.C. § 3516 note). https://sourcebook.acus.gov/wiki/Information_Quality_Act

Jordan, A., & Gravey, V. (Eds.). (2021). *Environmental policy in the EU: Actors, institutions and processes* (4th ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780429402333

Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2024). *Indikator pembangunan lingkungan hidup dalam rencana pembangunan jangka panjang nasional 2025–2045* (Revisi II).

Direktorat Lingkungan Hidup, Kedeputian Kemaritiman dan Sumber Daya Alam, Kementerian PPN/Bappenas.

Lakshmi, J., Abraham, K. M., Nandakumar, S., & Kumar, M. G. S. (2021). Aquatic Insects, a Tool for Monitoring the Health of Riverine Ecosystem, a Case Study of Killiyar, Thiruvananthapuram, Kerala, India. *Sustainability Agri Food and Environmental Research-Discontinued*, *9*(4). https://doi.org/10.7770/safer-v0n0-art2287

Lauterpacht, H. (1958). The development of international law by the International Court. Stevens & Sons.

Liaqat, I., Ali, N. M., & Virk, N. (2023). Recent Advances in Evaluating Insects as Bioindicators of Heavy Metal Pollution. In B. A. Almayyahi (Ed.), *Heavy Metals - Recent Advances*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.110212

Machuca-Sepúlveda, J., Miranda, J., Lefin, N., Pedroso, A., Beltrán, J. F., & Farías, J. G. (2023). Current Status of Omics in Biological Quality Elements for Freshwater Biomonitoring. *Biology*, *12*(7), 923. https://doi.org/10.3390/biology12070923

Medhi, J., Dutta, J., & Kalita, M. C. (2021). *Biomonitoring Ecosystem: Modelling Relationship With Arthropods*. https://doi.org/10.5772/intechopen.94313

Monaghan, K. A. (2016). Four reasons to question the accuracy of a biotic index; The risk of metric bias and the scope to improve accuracy. *PLoS ONE*, *11*(7). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158383

Nugraha, D. R., Tugiyono, Susanto, G. N., & Kanedi, M. (2024). Struktur Komunitas Makrozoobentos Sebagai Bioindikator Kualitas Air Di Sungai Way Awi, Bandarlampung. *Journal of Biota*, 330–339. https://doi.org/10.24002/biota.v9i3.8744

Nuraeni, S., Khusna HM, A., & Sadapotto, A. (2019). Keanekaragaman Serangga Air Dan Biomonitoring Berbasis Indeks Famili Biotik. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, *16*(2), 147–157. https://doi.org/10.20886/jphka.2019.16.2.147-157

OECD (2025), OECD Regulatory Policy Outlook 2025, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/56b60e39-en.

Okeke, T. E., Ewuim, S. C., Ononye, B. U., Chukwudebelu, A. E., & Mbelede, K. C. (2024). Efficiency of Different Techniques in Collecting Insects in Environments Exposed to Palm Oil and Spent Engine Oil Effluents in Abakiliki, Ebonyi State. *Asian Journal of Research in Zoology*, *7*(1), 47–57. https://doi.org/10.9734/ajriz/2024/v7i1139

Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511807763

Ratnasari, D., Fajar, M. T. I., & Elhany, N. A. (2023). Uji Kualitas Air Sungai Di Desa Sumberkolak Kecamatan Panarukan Kabupaten Situbondo. *Biogenic Jurnal Ilmiah Biologi*, *1*(2), 12–20. https://doi.org/10.36841/biogenic.v1i2.3749

Rocha, J. R. M. da, Almeida, J. R. de, Lins, G. A., & Durval, A. (2010). Insects as Indicators of Environmental Changing and Pollution: A Review of Appropriate Species and Their Monitoring. *Holos Environment*, *10*(2), 250. https://doi.org/10.14295/holos.v10i2.2996

Rosner, A., Ballarin, L., Barnay-Verdier, S., Borisenko, I., Drago, L., Drobne, D., Concetta Eliso, M., Harbuzov, Z., Grimaldi, A., Guy-Haim, T., Karahan, A., Lynch, I., Lionetto, M. G., Martinez, P., Mehennaoui, K., Oruc Ozcan, E., Pinsino, A., Paz, G., Rinkevich, B., … Cambier, S. (2024). A broad-taxa approach as an important concept in ecotoxicological studies and pollution monitoring. *Biological Reviews*, *99*(1), 131–176. https://doi.org/10.1111/brv.13015

Soininen, N., Romppanen, S., Nieminen, M., & Soimakallio, S. (2023). The impact-based regulatory strategy in environmental law: Hallmark of effectiveness or pitfall for legitimacy? *Journal of Environmental Law*, *35*(2), 237–258. https://doi.org/10.1093/jel/eqad013

Suci, R. W. (2016). Serangga Air Sebagai Indikator Biologis Cemaran Air Di Sungai Cikaniki, Desa Citalahab, Tn. Gunung Halimun Salak, Jawa Barat. *Risenologi*, *1*(2), 65–70. https://doi.org/10.47028/j.risenologi.2016.12.27

Suheriyanto, D., Lutfiyah, A., Dara W., D., Farhan, M., & Izzah, A. (2020). The Potency of Soil Insect As Soil Quality Bioindicators in Citrus Plantations Poncokusumo District, Malang Regency. *El-Hayah: Jurnal Biologi*, *7*(4), 144–151. https://doi.org/10.18860/elha.v7i4.10667

Trianto, M., Nuraini, N., Sukmawati, S., & Kisman, M. D. (2020). Keanekaragaman Genus Serangga Air Sebagai Bioindikator Kualitas Perairan. *Justek Jurnal Sains Dan Teknologi*, *3*(2), 61. https://doi.org/10.31764/justek.v3i2.3562

van Asselt, H., Vesa, S., & Huhta, K. (2025). Towards a future-proof environmental law? In H. van Asselt, S. Vesa, & K. Huhta (Eds.), *Future-proofing law in a time of environmental emergency* (pp. 1–19). Edward Elgar Publishing. https://doi.org/10.4337/9781035343805.00005

Wijaya, H., Nugroho, A. P., & Widyastuti, M. (2025). Biomonitoring Kesehatan Ekosistem Sungai Menggunakan Serangga Akuatik di Sungai Bedog, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *23*(4), 1140–1148. https://doi.org/10.14710/jil.23.4.1140-1148