

Ekosistem Perairan: Keanekaragaman Hayati, Konservasi, Dampak Manusia, dan Pentingnya secara Global

Aquatic Ecosystems: Biodiversity, Conservation, Human Impacts, and Global Importance

Abdunnur^{1*}, Hamdi Mayulu²

¹Departemen Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia

²Department of Animal Husbandry, Faculty of Agriculture, Mulawarman University, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia

*Email korespondensi: abdunnur@fpik.unmul.ac.id

Abstrak

Semi-ulasan ini memandang ekosistem akuatik sebagai sistem penyangga kehidupan yang mendukung keanekaragaman hayati, regulasi iklim, ketahanan pangan, kesehatan lingkungan, dan aktivitas ekonomi. Artikel ini memadukan literatur ilmiah tentang lingkungan laut, pesisir, estuari, rawa, danau, sungai, dan lahan basah dengan statistik resmi dari publikasi Kalimantan Timur Dalam Angka periode 2020-2026. Melalui pendekatan naratif-kritis, ulasan ini memeriksa struktur komunitas, fungsi ekologis, jasa ekosistem, tekanan akibat aktivitas manusia, respons konservasi, dan prioritas penelitian masa depan. Bukti menunjukkan bahwa ekosistem akuatik mendukung keragaman genetik, spesies, dan habitat yang substansial, namun polusi, penangkapan ikan berlebih, perubahan penggunaan lahan, fragmentasi aliran, spesies asing invasif, dan perubahan iklim secara bersama-sama mengikis kondisi ekosistem. Kalimantan Timur memberikan gambaran regional yang berguna: provinsi ini memiliki sistem danau utama di Kutai Kartanegara dan Kutai Timur, jaringan sungai yang luas, serta pada tahun 2024 memproduksi 216,04 ribu ton dari perikanan tangkap dan 245,16 ribu ton dari perikanan budidaya. Aset ekologis dan angka produksi ini memperjelas bahwa konservasi tidak dapat dipisahkan dari tata kelola perikanan, manajemen kualitas air, pemulihan habitat, dan kebijakan lintas sektor. Oleh karena itu, ulasan ini menekankan manajemen berbasis ekosistem, penguatan hubungan antara pemantauan biologis dan data spasial, restorasi lahan basah dan pesisir, serta kolaborasi berkelanjutan antar pemangku kepentingan sebagai fondasi praktis untuk konservasi akuatik adaptif.

Diterima: 30 Juli 2026

Direvisi: 10 Agustus 2026

Disetujui: 11 September 2026

Dipublikasi: 30 September 2026

Copyright :

© 2026, Abdunnur, and Hamdi Mayulu. Published by Jurnal Sains dan Kesehatan, Faculty of Pharmacy, University of Mulawarman, Samarinda, Indonesia. This is an Open Access article under the [CC-BY-NC License](#).



Kata kunci: Ekosistem akuatik, keanekaragaman hayati, konservasi, perikanan, Kalimantan Timur

Abstract

This semi-review considers aquatic ecosystems as life-support systems that sustain biodiversity, climate regulation, food security, environmental health, and economic activity. It brings together scientific literature on marine, coastal, estuarine, swamp, lake, river, and wetland environments with official statistics from the East Kalimantan Province in Figures series for 2020-2026. Using a narrative-critical approach, the review examines community structure, ecological functions, ecosystem services, human pressures, conservation responses, and priorities for future research. The evidence shows that aquatic ecosystems support substantial genetic, species, and habitat diversity, yet pollution, overfishing, land-use change, flow fragmentation, invasive alien species, and climate change increasingly act together to erode ecosystem condition. East Kalimantan provides a useful regional illustration: the province contains major lake systems in Kutai Kartanegara and Kutai Timur, extensive river networks, and in 2024 produced 216.04 thousand tonnes from capture fisheries and 245.16 thousand tonnes from aquaculture. These ecological assets and production figures make clear that conservation cannot be separated from fisheries governance, water-quality management, habitat recovery, and cross-sectoral policy. The review therefore emphasizes ecosystem-based management, stronger links between biological monitoring and spatial data, wetland and coastal restoration, and sustained collaboration among stakeholders as practical foundations for adaptive aquatic conservation.

Keywords: *Aquatic ecosystems, biodiversity, conservation, fisheries, East Kalimantan*

1 Pendahuluan

Ekosistem perairan memadukan proses hidrologis, siklus biogeokimia, aliran energi, dan jaring-jaring makanan yang mencakup lingkungan laut, pesisir, estuari, sungai, danau, rawa, dan lahan basah. Ekosistem ini menyediakan pangan dan air, habitat, jalur transportasi, kapasitas asimilasi limbah, penyimpanan karbon, penyangga bencana, serta manfaat budaya. Signifikansinya melampaui lokasi tempat layanan tersebut dihasilkan: sistem perairan juga turut mengatur iklim global, mendukung kegiatan ekonomi biru, dan memelihara sebagian besar keanekaragaman hayati planet ini [1]-[6].

Keanekaragaman hayati perairan mencakup mikroorganisme, plankton, bentos, lamun, mangrove, makroalga, ikan, amfibi, reptil, burung air, dan mamalia air. Namun, makna ekologisnya lebih dari sekadar jumlah spesies. Organisme-organisme ini membentuk kelompok fungsional yang saling berinteraksi dalam mengatur produksi primer, dekomposisi, siklus hara, penyaringan air, penyimpanan karbon, dan stabilitas ekosistem. Hilangnya komponen yang memiliki peran fungsional penting dapat menimbulkan dampak berantai pada jaring-jaring makanan, mengubah struktur komunitas, mengganggu transfer energi, serta mengurangi ketahanan terhadap gangguan [7]-[9].

Tekanan terhadap ekosistem perairan kian meningkat seiring dengan intensifikasi pertumbuhan penduduk, industrialisasi, urbanisasi pesisir, perluasan pertanian, pembangunan infrastruktur, dan ekstraksi sumber daya. Dampaknya terlihat nyata dalam bentuk penangkapan ikan berlebih, pencemaran hara dan plastik, reklamasi, fragmentasi sungai, beban sedimen, penurunan kualitas air, serta perubahan kimia air akibat pemanasan suhu. Tekanan-tekanan ini jarang terjadi secara terpisah; dampak gabungannya dapat melemahkan ketahanan ekosistem serta mengurangi fungsi ekologis maupun manfaat sosial-ekonomi [5], [10]-[13]. Kalimantan Timur memberikan gambaran nyata mengenai isu ini di tingkat daerah. Laporan statistik provinsi mencatat data geografi dan iklim, panjang sungai, luas danau, serta data berkala mengenai perikanan tangkap dan budidaya. Pada tahun 2020, tercatat luas Danau Melintang sebesar 11.000 ha dan Danau Semayang sebesar 13.000 ha di Kutai Kartanegara, sementara Danau Ngayau dan Danau Karang di Kutai Timur masing-masing memiliki luas 1.900 ha dan 750 ha. Laporan tahun 2026 mencatat produksi perikanan tangkap sebesar

216,04 ribu ton dan produksi akuakultur sebesar 245,16 ribu ton pada tahun 2024, yang menyoroti pentingnya sistem perairan provinsi tersebut dari segi ekologis maupun ekonomis [14]-[15].

Kondisi ini menuntut lebih dari sekadar uraian deskriptif mengenai sumber daya perairan. Sebuah tinjauan yang bermanfaat perlu mengaitkan keanekaragaman hayati dengan fungsi ekosistem, menunjukkan bagaimana aktivitas manusia mengubah proses ekologis, serta mempertimbangkan langkah konservasi mana yang kemungkinan dapat diterapkan secara praktis. Tinjauan ini juga perlu menempatkan bukti-bukti regional dalam konteks perdebatan global yang lebih luas mengenai tata kelola perairan. Pendekatan ini mengalihkan fokus pembahasan dari sekadar inventarisasi ancaman menuju upaya penjelasan, sintesis, dan relevansi kebijakan. Empat pertanyaan menjadi panduan dalam tinjauan ini. Bagaimana struktur, fungsi, dan keanekaragaman hayati ekosistem perairan membentuk stabilitas ekologis pada skala lokal dan global? Aktivitas manusia apa yang memberikan tekanan terbesar terhadap integritas habitat dan keanekaragaman hayati perairan? Pendekatan konservasi mana yang paling bermanfaat untuk memperkuat pengelolaan berbasis ekosistem di wilayah perairan laut, pesisir, dan daratan? Terakhir, apa yang dapat diungkapkan oleh data regional Kalimantan Timur mengenai tata kelola ekosistem perairan di wilayah tropis?

Tinjauan ini memiliki tiga tujuan: mensintesis pemahaman terkini mengenai keanekaragaman hayati perairan dan fungsi ekosistem; mengkaji bagaimana aktivitas manusia, termasuk perubahan iklim, memengaruhi keberlanjutan perairan; serta mengidentifikasi prioritas konservasi, tata kelola, dan penelitian masa depan dengan mengaitkan literatur ilmiah dan bukti-bukti dari Kalimantan Timur. Artikel ini menggunakan desain semi-tinjauan dengan orientasi naratif-kritis. Sintesis ini disusun berdasarkan sumber primer dan sekunder, termasuk artikel ilmiah yang telah melalui telaah sejawat (*peer-reviewed*), laporan organisasi internasional, buku referensi, dan publikasi statistik resmi. Bukti-bukti regional diambil dari seri publikasi "Provinsi Kalimantan Timur dalam Angka" periode 2020–2026 [14]–[20].

2 Metode

Artikel ini menggunakan desain semi-tinjauan dengan orientasi kritik naratif. Sintesis ini memanfaatkan sumber primer dan sekunder, termasuk artikel yang telah melalui telaah sejawat *peer-reviewed*, laporan organisasi internasional, buku referensi, dan publikasi statistik resmi. Bukti regional diambil dari seri publikasi "Provinsi Kalimantan Timur dalam Angka" periode 2020–2026 [14]–[20]. Literatur dipilih berdasarkan tema-tema yang paling relevan dengan pertanyaan tinjauan: keanekaragaman hayati perairan, jasa ekosistem, perikanan, lahan basah, perubahan iklim, konservasi wilayah pesisir dan perairan darat, ekonomi biru, serta tata kelola berbasis ekosistem. Publikasi Provinsi Kalimantan Timur dalam Angka menjadi sumber data regional utama karena menyajikan informasi berkala mengenai geografi, iklim, sungai, danau, dan perikanan, sehingga memungkinkan pertimbangan signifikansi ekologis bersamaan dengan aspek pembangunan daerah.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Konsep, Klasifikasi, dan Fungsi Ekosistem Perairan

Analisis dilakukan melalui empat tahapan. Pertama, tema utama diidentifikasi dari berbagai literatur, khususnya mengenai struktur dan fungsi ekosistem, keanekaragaman hayati, tekanan akibat aktivitas manusia, konservasi, dan signifikansi global. Selanjutnya, bukti-bukti tersebut disusun ulang berdasarkan hubungan sebab-akibat antara gangguan dan respons ekosistem. Statistik regional dari Kalimantan Timur yang disertakan sebagai contoh yaitu kasus wilayah tropis, diikuti dengan sintesis mengenai implikasi kebijakan dan arah penelitian di masa depan.

Tinjauan ini memiliki beberapa keterbatasan. Kajian ini bergantung pada sumber sekunder, dan indikator-indikator yang ada tidak dilaporkan secara konsisten antarwilayah maupun antartahun.

Publikasi statistik regional juga lebih menonjolkan aspek produksi dan geografi dibandingkan detail ekologis; data mengenai indeks trofik, kualitas mikrohabitat, komposisi spesies, dan indikator biologis lainnya tidak tersedia secara rutin. Keterbatasan ini membatasi cakupan kesimpulan yang dapat ditarik dari data regional tersebut, sekaligus menunjukkan perlunya pemantauan ekologis yang lebih terintegrasi.

Tabel 1. Karakteristik utama dari beberapa tipe ekosistem akuatik dan fungsi dominannya

Tipe Ekosistem	Karakteristik fisik utama	Komponen biotik dominan	Fungsi ekologis utama
Lautan terbuka	Salinitas tinggi, arus kuat, kedalaman bervariasi	Fitoplankton, zooplankton, ikan pelagis, mamalia laut	Produktivitas primer global, regulasi iklim, penyimpanan panas
Pesisir dan muara (estuari)	Zona transisi darat-laut, gradien salinitas, pengaruh pasang surut yang kuat	Hutan bakau, padang lamun, bentos, ikan remaja, krustasea	Fungsi asuhan (<i>nursery</i>), pengendalian abrasi, filtrasi nutrisi, karbon biru
Sungai	Aliran searah, konektivitas hulu-hilir, debit dinamis	Makroinvertebrata, ikan migrasi, vegetasi riparian	Transpor sedimen, konektivitas habitat, pasokan air tawar
Danau dan rawa	Air menggenang, stratifikasi musiman, retensi air lebih lama	Plankton, makrofita, ikan air tawar, burung air	Penyimpanan air, perikanan darat, pengendalian banjir, penyimpanan karbon

3.2 Keanekaragaman Hayati dan Jasa Ekosistem

Keanekaragaman hayati akuatik terjadi pada tingkat genetik, spesies, komunitas, dan ekosistem. Variasi genetik memengaruhi kapasitas populasi untuk merespons perubahan suhu, salinitas, penyakit, dan stresor lainnya. Keanekaragaman spesies membentuk interaksi ekologis, sedangkan keanekaragaman habitat memengaruhi ketersediaan relung (*niche*), konektivitas, dan heterogenitas lingkungan. Keanekaragaman yang lebih besar dapat memberikan redundansi fungsional dan, dalam banyak kondisi, meningkatkan kapasitas ekosistem untuk bertahan atau pulih setelah gangguan [8], [9]. Sistem air tawar sering kali mengandung keragaman spesies yang luar biasa dalam wilayah geografis yang relatif kecil. Sungai-sungai tropis besar, danau-danau purba, rawa-rawa dataran banjir, dan delta dapat bertindak sebagai pusat evolusi, migrasi, dan spesiasi. Pada saat yang sama, luas spasial mereka yang terbatas dan ketergantungan pada konektivitas aliran membuat mereka sangat sensitif terhadap bendungan, perubahan penggunaan lahan, abstraksi air, dan polusi. Oleh karena itu, keanekaragaman hayati air tawar terus hilang di bawah berbagai tekanan interaktif yang dapat melampaui kapasitas pemulihan ekosistem itu sendiri [7], [11], [12], [25].

Lingkungan laut dan pesisir mendukung komunitas yang sama beragamnya melintasi terumbu karang, padang lamun, hutan bakau, estuari, laguna, dan habitat laut dalam. Habitat-habitat ini berfungsi sebagai tempat pemijahan, tempat asuhan, area makan, dan tempat berlindung bagi banyak taksa. Terumbu karang mempertahankan produktivitas dan keanekaragaman yang tinggi melalui interaksi ekologis yang terikat erat namun sangat sensitif terhadap stres termal dan pemutihan (*bleaching*) [26]-[28]. Bakau dan lamun mendukung kehidupan ikan, moluska, krustasea, dan satwa liar lainnya melalui berbagai tahap kehidupan, namun keduanya terus mengalami penyusutan di banyak belahan dunia [22], [29], [30]. Fungsi sama pentingnya dengan jumlah spesies. Predator puncak membantu menjaga keseimbangan trofik, herbivora membatasi pertumbuhan alga, pemakan penyaring dapat meningkatkan kejernihan dan kualitas air, dan mikroorganisme mendorong proses

dekomposisi, nitrifikasi, denitrifikasi, serta transformasi karbon. Hilangnya kelompok fungsional yang khas dapat mendestabilisasi ekosistem lebih parah daripada hilangnya beberapa spesies umum yang memiliki peran serupa.

Jasa ekosistem akuatik sering digambarkan sebagai jasa penyediaan, regulasi, pendukung, dan kultural. Jasa penyediaan (*provisioning*) meliputi sumber daya ikan, udang, kerang, rumput laut, air, biomassa, garam, dan sumber daya farmasi. Jasa regulasi mencakup sekuestrasi karbon, moderasi iklim, pengendalian banjir, perlindungan pesisir, dan pemurnian air. Jasa pendukung mencakup produksi primer, siklus nutrisi, pembentukan habitat, dan konektivitas ekologis, sedangkan jasa kultural mencakup pendidikan, identitas lokal, pariwisata, estetika, dan nilai spiritual [1], [2]. Signifikansi globalnya sangat jelas terlihat dalam ketahanan pangan, regulasi iklim, dan aktivitas ekonomi. Perikanan dan budidaya menyediakan protein hewani, asam lemak esensial, lapangan kerja, dan pendapatan bagi jutaan rumah tangga. Laut menyerap sejumlah besar panas dan karbon, sementara bakau, padang lamun, dan lahan basah menyimpan karbon dalam biomassa dan sedimen yang berumur panjang. Pelayaran, pariwisata pesisir, energi, perikanan, dan sektor-sektor terkait selanjutnya menghubungkan kondisi ekosistem akuatik dengan stabilitas ekonomi dan geopolitik [4], [5], [23].

3.3 Dampak Manusia dan Perubahan Iklim

Eksplorasi ikan yang berlebihan mengubah struktur populasi, mengurangi biomassa stok, memendekkan jaring makanan, dan dapat merusak stabilitas komunitas [31]. Efeknya menjadi lebih parah ketika alat tangkap yang tidak selektif menghasilkan *bycatch* tinggi, merusak habitat benthik, atau memusatkan upaya pada spesies yang tumbuh lambat. Perikanan budidaya juga dapat menciptakan tekanan lingkungan jika dikelola dengan buruk, terutama melalui limbah organik, penularan penyakit, penggunaan antimikroba yang berlebihan, dan konversi habitat [5]. Polusi mencapai sistem akuatik dari berbagai sumber. Kelebihan nitrogen dan fosfor dari pertanian dan limbah domestik dapat memicu eutrofikasi, ledakan alga, penipisan oksigen, dan hipoksia [32]. Pembuangan industri mungkin menambahkan logam berat, hidrokarbon, dan bahan kimia yang persisten. Plastik terfragmentasi menjadi mikroplastik yang masuk ke dalam jaring makanan dan dapat mengubah proses ekosistem dan fungsi organisme di berbagai tingkat trofik [33], [34]. Masalah ini seringkali paling parah terjadi di estuari, teluk semi-tertutup, dan perairan darat di mana sirkulasi terbatas dan kontaminan dapat berakumulasi [13], [35].

Perubahan di darat dengan cepat ditransmisikan ke perairan. Pembukaan vegetasi riparian, pengerukan, reklamasi, dan perubahan penggunaan lahan lainnya dapat meningkatkan sedimentasi, mengubah suhu air, dan mengurangi kapasitas penyangga alami. Bendungan dan kanal dapat mengganggu migrasi ikan, memodifikasi rezim aliran, memutus dataran banjir, dan mengganggu reproduksi pada spesies air tawar [36]. Di sepanjang pesisir, reklamasi dapat menghilangkan padang lamun, hutan bakau, dan dataran lumpur pasang surut yang mendukung perikanan serta stabilitas garis pantai. Contoh-contoh ini menunjukkan mengapa pembangunan terestrial dan kondisi ekosistem akuatik tidak dapat dikelola secara terpisah [11], [24].

Perubahan iklim mengubah lingkungan akuatik melalui pemanasan, pergeseran curah hujan dan limpasan, perubahan sirkulasi dan stratifikasi, serta peristiwa ekstrem yang lebih sering atau intens di beberapa daerah. Karena lautan menyerap sebagian besar panas berlebih dalam sistem iklim, gelombang panas laut, pemutihan karang, perubahan produktivitas primer, pergeseran distribusi spesies, dan risiko penyakit menjadi perhatian yang semakin penting [4], [37]. Perairan darat juga terpengaruh melalui perubahan debit, kekeringan musiman, banjir bandang, dan kualitas air yang lebih bervariasi [4]. Pengasaman laut menambahkan tekanan lain, terutama bagi organisme pengapung seperti karang, moluska, dan beberapa plankton [38].

Tabel 2. Karakteristik utama dari beberapa tipe ekosistem akuatik dan fungsi dominannya

Tekanan utama	Mekanisme gangguan	Dampak ekologis
Eksplorasi berlebihan	Pemanenan melampaui kapasitas pemulihan stok dan pergeseran komposisi tangkapan	Penurunan biomassa, perubahan struktur usia, ketidakseimbangan trofik
Polusi nutrisi	Masukan nitrogen dan fosfor dari pertanian, sumber domestik, dan industri	Eutrofikasi, ledakan alga, hipoksia, mortalitas biotik
Perubahan tata guna lahan	Hilangnya vegetasi riparian, reklamasi, pengerukan, sedimentasi	Degradasi habitat, penurunan kejernihan air, hilangnya area asuhan (<i>nursery</i>)
Fragmentasi aliran	Bendungan, kanal, tanggul, pengalihan sungai	Migrasi terputus, perubahan debit, gangguan reproduksi dan siklus banjir
Perubahan iklim	Pemanasan, perubahan curah hujan, kenaikan permukaan laut, pengasaman	Pemutihan karang, pergeseran distribusi, perubahan produktivitas

Perubahan kimia karbonat dapat merusak kalsifikasi dan memengaruhi perilaku serta interaksi jaring makanan. Ketika pemanasan terjadi bersamaan dengan deoksigenasi, jumlah habitat yang sesuai dapat menyusut bagi spesies sensitif, meninggalkan sistem yang sebelumnya produktif lebih rentan terhadap gangguan tambahan [4], [10].

3.4 Strategi Konservasi dan Refleksi Regional di Kalimantan Timur

Konservasi ekosistem akuatik secara efektif memerlukan pendekatan berbasis ekosistem yang mengakui hubungan antara habitat, spesies, proses fisik, dan aktivitas manusia. Hal ini berbeda dari mengelola konservasi laut, sungai, kehutanan, pertanian, dan perencanaan ruang sebagai sektor-sektor yang terpisah. Dalam kerangka kerja berbasis ekosistem, kawasan lindung akuatik, perlindungan koridor riparian, pengendalian polusi, restorasi habitat, dan regulasi penggunaan sumber daya dirancang untuk bekerja sama guna memelihara proses-proses ekologis [24], [28].

Kalimantan Timur memiliki basis sumber daya akuatik yang luas yang terkait erat dengan pembangunan regional. Kalimantan Timur Dalam Angka 2020 mencantumkan sungai dan danau utama dalam profil geografisnya, termasuk Sungai Segah (152 km), Sungai Kelay (254 km), dan Sungai Berau (292 km) di Kabupaten Berau. Data tersebut juga mencatat Danau Melintang (11.000 ha) dan Danau Semayang (13.000 ha) di Kutai Kartanegara, bersama dengan Danau Ngayau (1.900 ha) dan Danau Karang (750 ha) di Kutai Timur. Angka-angka ini memberikan gambaran tentang skala habitat air darat yang mendukung keanekaragaman hayati, perikanan, dan mata pencaharian regional [14]. Statistik perikanan menunjukkan seberapa pentingnya perairan ini secara ekonomi. Laporan 2026 mencatat 216,04 ribu ton produksi perikanan tangkap pada 2024, senilai Rp 8,35 triliun. Perikanan tangkap laut menyumbang Rp 6,65 triliun dan perikanan tangkap perairan umum Rp 1,70 triliun. Kutai Kartanegara menyumbang 116,54 ribu ton, senilai Rp 4,85 triliun. Produksi akuakultur pada tahun yang sama mencapai 245,16 ribu ton, senilai Rp 6,78 triliun, terutama dari sistem tambak dan karamba jaring apung [15]. Makna ekologis dari angka-angka ini sama pentingnya dengan nilai ekonominya. Tingkat produksi semacam itu menunjukkan ketergantungan yang kuat pada fungsi ekosistem akuatik. Menurunnya kualitas air, sedimentasi, hilangnya mangrove, gangguan muara, atau fragmentasi sungai dapat secara langsung menurunkan produktivitas perikanan, mengurangi

pendapatan rumah tangga, dan meningkatkan tekanan pada ketahanan pangan lokal. Melindungi habitat karena itu bukanlah alternatif dari pembangunan ekonomi; melainkan bagian dari fondasi yang membuat produksi perikanan berkelanjutan.

Kalimantan Timur juga menunjukkan mengapa kelimpahan sumber daya alam tidak boleh disalahartikan sebagai keamanan ekologis. Pertambangan, pertanian perkebunan, pertumbuhan kota pesisir, dan pembangunan infrastruktur secara progresif dapat menurunkan kualitas habitat. Nilai yang dihasilkan oleh perikanan oleh karena itu perlu dipertimbangkan bersama-sama dengan perlindungan daerah tangkapan air, pengendalian limbah, manajemen kawasan konservasi, dan pemantauan jangka panjang. Begitu integritas ekosistem hilang, produktivitas dapat menurun sementara biaya pemulihan meningkat. Hutan bakau di Kalimantan dan daerah lain di Indonesia adalah penyimpan karbon biru dan area perlindungan keanekaragaman hayati yang penting secara global, namun tetap rentan terhadap perubahan tata guna lahan dan stres terkait iklim [40], [41]. Abdunnur dan Mayulu (2021) secara serupa berpendapat bahwa pengembangan pesisir di Kalimantan Timur memerlukan informasi geospasial dan manajemen terpadu darat-air agar pemanfaatan ruang tetap berada dalam daya dukung lingkungan [42].

Literatur mengenai pakan ternak dari daun bakau (*mangrove-feedstock*) menambahkan dimensi regional lainnya. Mayulu et al. (2024) melaporkan 181.871 ha hutan bakau di Kalimantan Timur, termasuk 125.502 ha di Delta Mahakam [39]. Skala habitat ini menjadikannya aset konservasi yang penting serta sumber biomassa potensial bila pemanfaatannya dikontrol dengan saksama. Untuk tata kelola ekosistem akuatik, implikasinya adalah bahwa perlindungan bakau, mata pencaharian pesisir, inovasi sumber pakan, dan regulasi ruang harus dipertimbangkan bersama-sama, bukan sebagai sektor-sektor yang tidak terkait.

Tabel 3. Profil ringkas indikator akuatik Kalimantan Timur yang relevan dengan studi konservasi

Indikator	Informasi utama	Signifikansi ekologis dan kebijakan
Sistem danau utama	Danau Semayang 13.000 ha; Danau Melintang 11.000 ha; Danau Ngayau 1.900 ha; Danau Karang 750 ha	Menyoroti habitat air darat yang penting bagi perikanan, burung air, dan regulasi hidrologis
Jaringan sungai	Sungai Segah 152 km; Sungai Kelay 254 km; Sungai Berau 292 km	Menyoroti pentingnya konektivitas hulu-hilir dan pengendalian sedimentasi serta polusi
Perikanan tangkap 2024	216,04 ribu ton; nilai 8,35 triliun rupiah; Kutai Kartanegara 116,54 ribu ton	Menunjukkan ketergantungan ekonomi yang kuat pada kondisi ekosistem akuatik laut dan darat
Perikanan budidaya 2024	245,16 ribu ton; nilai 6,78 triliun rupiah; metode dominan adalah tambak sederhana dan karamba jaring apung	Menunjukkan peluang ekonomi sejalan dengan kebutuhan pengendalian kualitas air dan tata kelola akuakultur yang baik

Pekerjaan internasional baru-baru ini semakin memperlakukan ekosistem akuatik sebagai sistem sosio-ekologis yang terhubung daripada habitat yang terisolasi. De Carvalho et al. (2025) berpendapat bahwa penilaian kesehatan akuatik harus bergerak melampaui metrik biologis tunggal untuk mencakup kualitas habitat, polusi, risiko kesehatan manusia, dan ketahanan ekosistem [43]. Nogueira dan Kane (2025) demikian juga menekankan konservasi di sepanjang kontinum air tawar ke laut alih-alih melalui program sektoral yang terpisah [44]. Çevik dan Çevik (2025) mengulas peningkatan penggunaan eDNA untuk mendeteksi spesies langka dan invasif serta melacak perubahan komunitas [45], sementara Jaywant dan Arif (2024) menyoroti peran penginderaan jauh yang

berkembang dalam pemantauan kualitas air spasial dan temporal [46]. Bersama-sama, pendekatan-pendekatan ini mengarah pada sistem penilaian yang lebih terintegrasi dan responsif.

Untuk Kalimantan Timur, pelajaran metodologisnya sangat jelas: tidak ada teknik pemantauan tunggal yang akan menangkap kondisi penuh dari lanskap akuatik yang sedemikian bervariasi. Statistik regional perlu dilengkapi dengan survei lapangan, eDNA, penginderaan jauh, biomonitoring, dan penilaian jasa ekosistem. Jika digunakan bersama-sama, pendekatan ini dapat memberikan dasar yang lebih kredibel untuk keputusan konservasi dan membantu mengungkapkan tekanan kumulatif dari mikroplastik, fragmentasi sungai, perubahan tutupan lahan, dan kerentanan bakau. Kombinasi metode ini juga akan memperkuat kontribusi Indonesia terhadap penelitian terapan berbasis bukti mengenai ekosistem akuatik tropis.

Ekosistem akuatik mendukung keanekaragaman hayati, produksi makanan, regulasi iklim, dan beragam layanan yang diandalkan oleh masyarakat. Habitat laut, pesisir, sungai, danau, rawa, dan lahan basah membentuk jaringan fungsi ekologis yang saling terhubung yang tidak dapat sepenuhnya digantikan oleh infrastruktur rekayasa. Meskipun demikian, eksploitasi yang berlebihan, polusi, perubahan tata guna lahan, gangguan aliran, dan perubahan iklim merusak banyak sistem ini dan mengurangi kapasitasnya untuk menyimpan karbon, memurnikan air, menopang perikanan, serta memelihara keanekaragaman hayati. Konservasi ekosistem akuatik oleh karena itu harus diperlakukan tidak hanya sebagai tanggung jawab lingkungan tetapi juga sebagai investasi jangka panjang dalam ketahanan regional dan kontinuitas ekonomi.

4 Kesimpulan

Ekosistem akuatik sangat vital bagi kehidupan dan ekonomi masyarakat (seperti yang terlihat di Kalimantan Timur), namun fungsinya terus terdegradasi oleh aktivitas manusia dan perubahan iklim. Oleh karena itu, konservasi tidak boleh hanya dipandang sebagai tanggung jawab lingkungan, melainkan investasi jangka panjang untuk ketahanan ekonomi dan regional. Untuk mewujudkannya, terdapat 4 prioritas utama yaitu manajemen berbasis ekosistem dalam perencanaan tata ruang dan pengelolaan sumber daya, sistem pemantauan terpadu yang mencakup indikator kualitas air, keanekaragaman hayati, dan sosial-ekonomi, restorasi habitat dan pengendalian polusi secara preventif, khususnya pada hutan bakau, area riparian, dan pengelolaan limbah/plastik, kolaborasi inklusif yang melibatkan pemerintah, peneliti, pelaku bisnis, hingga masyarakat lokal dan adat sejak tahap perencanaan.

5 Deklarasi/Pernyataan

5.1 Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Mulawarman, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, serta Fakultas Pertanian atas lingkungan akademik yang mendukung penyusunan semi-ulasan ini. Penulis juga mengakui BPS-Statistik Provinsi Kalimantan Timur karena menyediakan publikasi statistik resmi yang digunakan dalam analisis regional, dan para peneliti yang studi terpublikasinya menjadi landasan sintesis ini.

5.2 Penyandang Dana

Dana penelitian dalam artikel ini bersumber dari dana pribadi tidak terikat pada instansi manapun

5.3 Kontribusi Penulis

Penulis pertama membahas konseptualisasi artikel, penyusunan metodologi, penelusuran dan pengumpulan literatur, analisis serta sintesis informasi, penyusunan draf awal manuskrip, koordinasi penelitian, dan korespondensi dengan editor jurnal. Penulis kedua melakukan Penelusuran dan verifikasi literatur, analisis serta interpretasi informasi, peninjauan kritis terhadap manuskrip, penyuntingan naskah, dan persetujuan akhir terhadap versi manuskrip yang akan diterbitkan.

5.4 Etik

-

5.5 Konflik Kepentingan

Tidak ada konflik kepentingan di dalam penelitian ini.

5.6 Pernyataan Penggunaan Kecerdasan Artifisial

Dalam proses penyusunan dan penyempurnaan artikel ini, penulis menggunakan “Perplexity” sebagai alat bantu kecerdasan artifisial untuk mendukung penyuntingan bahasa, perbaikan struktur dan kejelasan redaksi, serta membantu penelusuran informasi dan referensi yang relevan. Penggunaan kecerdasan artifisial tidak menggantikan peran penulis dalam pengumpulan data, penetapan metode penelitian, pengambilan keputusan ilmiah, maupun interpretasi hasil penelitian. Seluruh informasi dan saran yang dihasilkan dengan bantuan Perplexity telah ditinjau, diverifikasi, dan disesuaikan kembali oleh penulis. Penulis bertanggung jawab penuh atas keakuratan, integritas, dan isi akhir artikel.

6 Daftar Pustaka

- [1] Barbier, E.B. (2017). Marine ecosystem services. *Current Biology*, 27 (11), R507-R510.
- [2] Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I., Farber, S. and Turner, R.K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152-158.
- [3] IPBES. (2019). Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- [4] IPCC. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- [5] United Nations. (2024). Sustainable Development Goals Report 2024. New York: United Nations.
- [6] WWF. (2024). Living Planet Report 2024. Gland: World Wide Fund for Nature.
- [7] Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A. H., Soto, D., Stiassny, M. L. J., and Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status, and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81 (2), 163-182.
- [8] Díaz, S., et al. (2019). Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science*, 366(6471), eaax3100.
- [9] Albert, J.S., et al. (2021). Scientists’ warning to humanity on freshwater biodiversity. *Ambio*, 50 (1), 85-94.
- [10] Halpern, B.S., et al. (2019). Recent pace of change in human impact on the world’s ocean. *Scientific Reports*, 9, 11609.
- [11] Tickner, D., et al. (2020). Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: an emergency recovery plan. *BioScience*, 70(4), 330-342.
- [12] Vörösmarty, C.J., et al. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467, 555-561.
- [13] UNEP. (2021). From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution. Nairobi: United Nations Environment Programme.
- [14] Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur. (2020). Provinsi Kalimantan Timur Dalam Angka 2020. Samarinda: BPS Provinsi Kalimantan Timur.
- [15] Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur. (2026). Provinsi Kalimantan Timur Dalam Angka 2026. Samarinda: BPS Provinsi Kalimantan Timur.

- [16] Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur. (2021). Provinsi Kalimantan Timur Dalam Angka 2021. Samarinda: BPS Provinsi Kalimantan Timur.
- [17] Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur. (2022). Provinsi Kalimantan Timur Dalam Angka 2022. Samarinda: BPS Provinsi Kalimantan Timur.
- [18] Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur. (2023). Provinsi Kalimantan Timur Dalam Angka 2023. Samarinda: BPS Provinsi Kalimantan Timur.
- [19] Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur. (2024). Provinsi Kalimantan Timur Dalam Angka 2024. Samarinda: BPS Provinsi Kalimantan Timur.
- [20] Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur. (2025). Provinsi Kalimantan Timur Dalam Angka 2025. Samarinda: BPS Provinsi Kalimantan Timur.
- [21] Wetzel, R.G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3rd ed. San Diego: Academic Press.
- [22] Friess, D.A., et al. (2019). The state of the world's mangrove forests: past, present, and future. *Annual Review of Environment and Resources*, 44, 89–115.
- [23] Macreadie, P.I., et al. (2021). Blue carbon as a natural climate solution. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2, 826-839.
- [24] Ramsar Convention on Wetlands. (2021). Global Wetland Outlook: Special Edition 2021. Gland: Ramsar Convention Secretariat.
- [25] Davidson, N.C. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65(10), 934-941.
- [26] Hoegh-Guldberg, O. (1999). Climate change, coral bleaching, and the future of the world's coral reefs. *Marine and Freshwater Research*, 50(8), 839-866.
- [27] Hughes, T.P., et al. (2003). Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science*, 301(5635), 929-933.
- [28] Sala, E., et al. (2021). Protecting the global ocean for biodiversity, food, and climate. *Nature*, 592, 397-402.
- [29] Waycott, M., et al. (2009). The accelerating loss of seagrasses worldwide threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(30), 12377-12381.
- [30] Duarte, C.M., et al. (2025). Conserving seagrass ecosystems to meet global biodiversity and climate goals. *Nature Reviews Biodiversity*, 1, 150-165.
- [31] Myers, R.A. and Worm, B. (2003). Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature*, 423, 280-283.
- [32] Carpenter, S.R., et al. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8 (3), 559-568.
- [33] Nava, V., et al. (2024). Plastic pollution affects ecosystem processes including community structure and functional traits in large rivers. *Water Research*, 259, 121849.
- [34] Khan, M.T., et al. (2024). Microplastic pollution in aquatic ecosystem: A review of existing policies and regulations. *Chemosphere*, 364, 143221.
- [35] Jambeck, J.R., et al. (2015). Plastic waste input from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.
- [36] Nilsson, C., et al. (2005). Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science*, 308(5720), 405-408.
- [37] Smale, D.A., et al. (2019). Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climate Change*, 9, 306-312.
- [38] Doney, S.C., et al. (2009). Ocean acidification: The other CO₂ problem. *Annual Review of Marine Science*, 1, 169-192.
- [39] Mayulu, H., et al. (2024). Mangrove Feedstock Potentials for Ruminant. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 19(4), 349-359.

- [40] Suhardi, R. M., et al. (2024). A review of the mangrove ecosystem in Indonesia: Biodiversity, conservation, and challenges in sustainable management. *Ecological Genetics and Genomics*, 32, 100282.
- [41] Analuddin, K., et al. (2024). Mangrove vulnerability and blue carbon storage in the Coral Triangle Areas, Southeast Sulawesi, Indonesia. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 12, 1420827.
- [42] Abdunnur, A., & Mayulu, H. (2021). The Policy on The Development of Integrated Coastal and Livestock Area Based on Geospatial in East Kalimantan. *Technium BioChemMed*, 2(3), 35-41.
- [43] De Carvalho, F.G., et al. (2025). Aquatic ecosystem indices, linking ecosystem health to human health risks. *Biodiversity and Conservation*, 34, 723-767.
- [44] Nogueira, M.G. and Kane, D.D. (2025). Aquatic Ecosystems: Biodiversity and Conservation. *Water*, 17(15), 2321.
- [45] Çevik, T. and Çevik, N. (2025). Environmental DNA (eDNA): A review of ecosystem biodiversity detection and applications. *Biodiversity and Conservation*, 34, 2999-3035.
- [46] Jaywant, S.A. and Arif, K.M. (2024). Remote Sensing Techniques for Water Quality Monitoring: A Review. *Sensors*, 24(24), 8041.
- [47] Lestariningsih, W.A., et al. (2025). Seagrass Meadows as Critical Ecosystems: An Integrated Approach to Conservation Area in Saleh Bay, West Nusa Tenggara. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 30(1), 7-19.
- [48] Nasution, M.A., et al. (2024). Seagrass Biodiversity and its Drivers in the Kepulauan Banyak Marine Nature Park, Indonesia. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 29(1), 156-169.
- [49] Wijayanti, D.P., et al. (2025). Symbiont Types of Scleractinian Corals in Java and Bali Waters, Indonesia. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 30(1), 71–82.
- [50] Dewi, N.P.S., et al. (2025). Diversity of Macroalgae in The Coastal Waters of Gunung Payung, Bali. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 14 (1), 53-64.
- [51] Andriyono, S., et al. (2025). Fish biodiversity and substrate composition on coral reef ecosystem at Penimbangan, Buleleng Regency, Bali. *Depik Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 14 (2), 202-207.
- [52] Suwarniati, et al. (2025). Diversity of macroalgae in the intertidal zone of Iboih Beach, Sabang, Indonesia. *Depik Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 14(2), 208-217.
- [53] Abdunnur. 2026. *Ekosistem Akuatik (Keanekaragaman Hayati, Konservasi, Dampak Manusia, dan Kepentingan Global)*. Rajawali Pers PT Rajagrafindo Persada, p184. ISBN 978-623-08-2510-1.
- [54] FAO. (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in Action. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [55] Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E., and Stromberg, J.C. (1997). The Natural Flow Regime. *BioScience*, 47(11), 769-784.