



PERAN ESTUARIA SEBAGAI HABITAT PENTING BAGI KEHIDUPAN AKUATIK

Hertini zebua¹⁾ Eduardus Heronimus Halawa²⁾

¹⁾ sumber daya akuatik, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: kartinizebua82@gmail.com

²⁾ sumber daya akuatik, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: heronimushalawa33@gmail.com

Abstract

Estuaries are transitional ecosystems between freshwater and marine environments, characterized by high productivity and complex biodiversity. This study aims to analyze the physical, chemical, and biological characteristics of estuarine ecosystems and identify the impact of anthropogenic activities on environmental quality and community structure. A descriptive quantitative method was applied through field observations and laboratory analysis across three estuarine zones (upstream, middle, and downstream). The results show environmental gradients, with increasing salinity and nutrient levels from upstream to downstream. Communities of phytoplankton, zooplankton, macrozoobenthos, and fish displayed distribution patterns influenced by local environmental conditions. Decreasing dissolved oxygen and rising nitrate and phosphate concentrations indicate anthropogenic pressures that may degrade ecosystem quality. Therefore, sustainable estuarine management is necessary to maintain ecological balance and ecosystem services.

Keywords: Estuary, Water quality, Biodiversity, Anthropogenic, Ecosystem management

Abstrak

Estuaria merupakan ekosistem transisi antara air tawar dan laut yang memiliki produktivitas tinggi dan keanekaragaman hayati yang kompleks. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik fisik, kimia, dan biologi ekosistem estuaria serta mengidentifikasi pengaruh aktivitas antropogenik terhadap kualitas lingkungan dan struktur komunitas biota. Metode yang digunakan adalah pendekatan deskriptif kuantitatif melalui pengamatan lapangan dan analisis laboratorium di tiga zona estuaria (hulu, tengah, dan muara). Hasil penelitian menunjukkan adanya gradasi parameter lingkungan, dengan peningkatan salinitas dan kandungan nutrisi dari hulu ke muara. Komunitas fitoplankton, zooplankton, makrozoobentos, dan ikan menunjukkan distribusi yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan lokal. Penurunan oksigen terlarut dan meningkatnya kadar nitrat dan fosfat mengindikasikan tekanan antropogenik yang berpotensi menurunkan kualitas ekosistem. Oleh karena itu, pengelolaan estuaria yang berkelanjutan diperlukan untuk menjaga keseimbangan ekologis dan fungsi jasa lingkungannya.

Kata Kunci: Estuaria, Kualitas air, Biodiversitas, Antropogenik, Pengelolaan ekosistem



PENDAHULUAN

Ekosistem estuaria merupakan salah satu ekosistem pesisir yang memiliki keunikan ekologis tersendiri karena merupakan wilayah peralihan antara lingkungan air tawar dari sungai dan air asin dari laut. Estuaria terbentuk di muara sungai di mana terjadi pencampuran antara dua tipe air tersebut, sehingga menghasilkan lingkungan dengan kadar salinitas yang bervariasi. Variasi ini menjadikan estuaria sebagai habitat yang dinamis dan kompleks, yang mendukung berbagai bentuk kehidupan akuatik dan terestrial.

Kondisi fisik dan kimia yang unik pada estuaria menjadikannya sebagai kawasan yang sangat produktif secara biologis. Kandungan nutrisi yang tinggi akibat limpasan dari daratan dan aktivitas gelombang serta pasang surut membuat daerah ini kaya akan plankton, yang menjadi dasar rantai makanan. Oleh karena itu, estuaria berfungsi sebagai tempat pemijahan, pembesaran, dan tempat perlindungan bagi berbagai jenis ikan, udang, kepiting, dan organisme lainnya.

Selain keanekaragaman hayati yang tinggi, estuaria juga memberikan berbagai jasa ekosistem yang penting bagi manusia. Wilayah ini mampu menyerap polutan, menyaring sedimen, dan mengurangi dampak banjir melalui fungsi penyerapan air. Estuaria juga menyediakan sumber daya perikanan yang signifikan, serta menjadi lokasi penting untuk kegiatan ekonomi seperti perikanan tangkap, budidaya perairan, dan pariwisata.

Meskipun memiliki nilai ekologis dan ekonomi yang tinggi, ekosistem estuaria sangat rentan terhadap gangguan antropogenik. Urbanisasi, pembangunan industri di pesisir, pertanian intensif, dan pencemaran limbah domestik maupun industri menjadi ancaman nyata bagi kelestarian ekosistem ini. Perubahan penggunaan lahan di daerah aliran sungai (DAS) juga berkontribusi terhadap peningkatan beban sedimen dan nutrisi yang mengalir ke estuaria.

Perubahan iklim global juga memberikan tekanan tambahan pada ekosistem estuaria. Naiknya permukaan air laut, peningkatan suhu, dan perubahan pola curah hujan dapat mengganggu keseimbangan salinitas serta siklus kehidupan organisme di estuaria. Dalam jangka panjang, perubahan ini dapat menurunkan produktivitas ekosistem dan menyebabkan kehilangan keanekaragaman hayati.

Penelitian terhadap ekosistem estuaria menjadi penting untuk memahami dinamika yang terjadi di dalamnya dan dampak dari aktivitas manusia serta perubahan iklim. Kajian ekologi estuaria mencakup analisis struktur komunitas biotik, kualitas air, interaksi trofik, serta faktor-faktor fisik dan kimia yang memengaruhi kestabilan ekosistem. Pengetahuan ini akan mendasari pengelolaan yang berkelanjutan dan berbasis ilmiah.

Pendekatan pengelolaan estuaria secara terpadu sangat dibutuhkan untuk menjamin keberlanjutan fungsi ekologis dan ekonomi ekosistem ini. Pengelolaan tersebut mencakup pengendalian pencemaran, konservasi keanekaragaman hayati, serta pelibatan masyarakat pesisir dalam menjaga kualitas lingkungan. Instrumen kebijakan dan peraturan yang mendukung juga menjadi faktor kunci keberhasilan pengelolaan.

Di Indonesia, yang memiliki garis pantai sangat panjang dan ribuan muara sungai, ekosistem estuaria berperan vital dalam mendukung kehidupan masyarakat pesisir. Namun, masih banyak estuaria yang belum dikelola secara optimal dan mengalami degradasi akibat tekanan aktivitas manusia. Oleh karena itu, perlu dilakukan inventarisasi, pemantauan, dan penguatan kapasitas pengelolaan ekosistem estuaria di berbagai wilayah.

Melalui tulisan ini, penulis bertujuan untuk mengkaji karakteristik ekosistem estuaria, perannya dalam mendukung keanekaragaman hayati dan kehidupan manusia, serta tantangan dan strategi pengelolannya. Diharapkan hasil kajian ini dapat menjadi kontribusi ilmiah dalam upaya pelestarian dan pengelolaan berkelanjutan ekosistem estuaria di Indonesia dan secara global.

TINJAUAN PUSTAKA

Estuaria merupakan zona peralihan antara sistem perairan darat dan laut yang memiliki karakteristik fisik, kimia, dan biologis yang unik. Secara umum, estuaria terletak di muara sungai dan menjadi titik pertemuan antara air tawar yang mengalir dari hulu dan air asin dari laut. Menurut Day et al. (2012), pencampuran air dengan salinitas berbeda ini menciptakan kondisi lingkungan yang dinamis dan kompleks, menjadikan estuaria sebagai laboratorium alam yang kaya untuk studi ekologi perairan.

Karakteristik utama estuaria adalah fluktuasi salinitas yang tinggi akibat interaksi antara pasang surut laut dan debit sungai. Fluktuasi ini memengaruhi distribusi organisme, proses biogeokimia, serta pola sirkulasi air. Kennish (2002) menyatakan bahwa meskipun kondisi lingkungan di estuaria dapat berubah drastis dalam waktu singkat, berbagai organisme telah berevolusi untuk beradaptasi dengan kondisi ekstrem tersebut.

Produktivitas primer di estuaria sangat tinggi karena adanya pasokan nutrisi yang berlimpah dari daratan dan proses resirkulasi nutrisi yang difasilitasi oleh pasang surut. Nutrien seperti nitrogen dan fosfor mempercepat pertumbuhan fitoplankton yang menjadi dasar rantai makanan. Cloern et al. (2016) menunjukkan bahwa estuaria mampu mendukung biomassa fitoplankton yang lebih tinggi dibandingkan dengan laut terbuka, menjadikannya pusat produksi primer.



Selain fitoplankton, zooplankton dan mikrofauna juga berkembang pesat di perairan estuaria. Kelimpahan organisme ini menciptakan habitat yang ideal bagi berbagai spesies ikan, moluska, dan krustasea. Estuaria berfungsi sebagai tempat penting untuk siklus hidup berbagai biota laut, terutama sebagai tempat pembesaran, pemijahan, dan perlindungan dari predator (Elliott & Whitfield, 2011).

Vegetasi khas estuaria seperti mangrove, lamun (seagrass), dan rawa pasang surut memberikan kontribusi besar terhadap stabilitas ekosistem. Akar-akar mangrove berfungsi sebagai perangkap sedimen dan perlindungan terhadap abrasi, serta menyediakan tempat tinggal bagi juvenile ikan dan invertebrata. McLusky & Elliott (2004) menekankan pentingnya vegetasi pesisir sebagai habitat pengasuhan (nursery grounds) yang penting dalam menjaga keberlanjutan stok perikanan.

Namun, meskipun memiliki nilai ekologis tinggi, ekosistem estuaria menghadapi tekanan yang semakin besar dari aktivitas manusia. Salah satu ancaman terbesar adalah pencemaran akibat limpasan pertanian, limbah rumah tangga, dan industri. Borja et al. (2006) mencatat bahwa eutrofikasi menjadi masalah umum di banyak estuaria dunia, menyebabkan ledakan alga (algal bloom) dan penurunan oksigen terlarut.

Alih fungsi lahan pesisir menjadi kawasan industri, pelabuhan, dan permukiman juga telah menyebabkan berkurangnya luas estuaria. Rehabilitasi wilayah estuaria seringkali terkendala oleh rendahnya komitmen politik dan terbatasnya pemahaman masyarakat terhadap fungsi ekologisnya. Lotze et al. (2006) bahkan menyatakan bahwa estuaria termasuk ekosistem pesisir yang paling cepat mengalami degradasi secara global.

Perubahan iklim turut memperparah tekanan terhadap ekosistem estuaria. Kenaikan muka air laut, peningkatan suhu, dan perubahan pola curah hujan menyebabkan perubahan struktur habitat dan komposisi spesies. Scavia et al. (2002) melaporkan bahwa perubahan iklim dapat memperbesar zona mati (dead zone) di estuaria akibat penurunan sirkulasi air dan stratifikasi suhu yang lebih kuat.

Strategi konservasi modern menekankan pentingnya pendekatan berbasis ekosistem dalam pengelolaan estuaria. Integrated Coastal Zone Management (ICZM) mengintegrasikan pengelolaan lintas sektor untuk menghindari konflik penggunaan lahan dan menjaga keberlanjutan fungsi ekosistem (Cicin-Sain & Knecht, 1998). Pendekatan ini menekankan pentingnya kolaborasi antara pemerintah, akademisi, pelaku usaha, dan masyarakat lokal.

Monitoring ilmiah terhadap parameter fisik, kimia, dan biologi estuaria sangat diperlukan untuk mendeteksi perubahan yang terjadi. Penelitian Hossain et al. (2013)

menunjukkan bahwa keanekaragaman fauna bentik dapat menjadi indikator kualitas lingkungan estuaria. Oleh karena itu, pemantauan komunitas organisme bentik dapat membantu mengidentifikasi degradasi ekologis sedini mungkin.

Di beberapa negara, restorasi estuaria telah menjadi bagian dari agenda nasional konservasi pesisir. Upaya ini melibatkan replanting mangrove, pembersihan sedimen tercemar, serta pemulihan arus alami sungai. Menurut Elliott et al. (2007), keberhasilan restorasi sangat bergantung pada pengetahuan lokal dan dukungan sosial, selain intervensi teknis.

Studi tentang layanan ekosistem estuaria juga semakin berkembang. Estuaria menyediakan jasa regulasi (pengendalian banjir, penyerapan karbon), jasa pendukung (siklus nutrien, habitat spesies), serta jasa provisioning (ikan, kerang) dan kultural (wisata, pendidikan). Barbier et al. (2011) menilai nilai ekonomi jasa ekosistem estuaria mencapai miliaran dolar per tahun di berbagai negara pesisir.

Pentingnya jasa lingkungan estuaria menuntut kebijakan perlindungan yang berbasis bukti ilmiah. Pemodelan ekosistem, analisis spasial dengan SIG, dan penggunaan indeks kualitas lingkungan seperti Estuarine Health Index menjadi alat penting untuk mendukung pengambilan keputusan. Teknik-teknik ini memungkinkan evaluasi jangka panjang terhadap efektivitas kebijakan konservasi.

Tinjauan pustaka yang komprehensif terhadap ekosistem estuaria menunjukkan bahwa keberlanjutan wilayah ini bergantung pada kolaborasi antara ilmu pengetahuan, kebijakan publik, dan partisipasi masyarakat. Mengingat pentingnya estuaria bagi ketahanan pangan, perlindungan pesisir, dan konservasi keanekaragaman hayati, maka upaya penelitian dan pengelolaan harus terus ditingkatkan secara terpadu dan berkelanjutan.

Dengan memahami sejarah penelitian terdahulu, tantangan masa kini, serta potensi masa depan, kajian ini memberikan landasan kuat untuk merancang strategi konservasi dan pengelolaan estuaria yang responsif terhadap dinamika lingkungan dan tekanan antropogenik. Upaya ini sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan, khususnya dalam pelestarian sumber daya laut dan pesisir.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan tujuan untuk menggambarkan kondisi fisik, kimia, dan biologi ekosistem estuaria serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi struktur



komunitas organisme di dalamnya. Lokasi penelitian dipilih berdasarkan kriteria keberadaan estuaria aktif, tingkat aksesibilitas, serta keberagaman aktivitas antropogenik yang memengaruhi kawasan tersebut. Penelitian dilakukan di Estuaria Sungai X, yang berada di wilayah pesisir Provinsi Y.

1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain eksploratif lapangan yang dikombinasikan dengan pengamatan laboratorium. Pengambilan data dilakukan secara langsung di lapangan untuk parameter fisik dan kimia air, serta pengambilan sampel biota dan sedimen untuk dianalisis lebih lanjut di laboratorium. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengukur konsentrasi zat dan jumlah organisme, sementara pendekatan kualitatif diterapkan dalam interpretasi interaksi ekosistem dan faktor lingkungan.

2. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama tiga bulan, yaitu dari Januari hingga Maret 2025. Lokasi pengamatan dibagi ke dalam tiga titik strategis: (1) bagian hulu estuaria, (2) bagian tengah, dan (3) bagian muara ke laut lepas. Ketiga lokasi tersebut mewakili gradien salinitas dan intensitas aktivitas manusia yang berbeda.

3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui metode berikut:

a. Parameter Fisik dan Kimia Air

Pengukuran parameter kualitas air meliputi suhu, salinitas, pH, kekeruhan, oksigen terlarut (DO), dan kandungan nitrat serta fosfat. Alat yang digunakan antara lain:

- Termometer digital untuk suhu air,
- Refraktometer untuk salinitas,
- pH meter portabel,
- DO meter,
- Spektrofotometer untuk analisis nutrisi.

Pengambilan sampel air dilakukan pada kedalaman 0,5 meter menggunakan botol sampel steril, dan analisis laboratorium dilakukan tidak lebih dari 24 jam setelah pengambilan.

b. Pengambilan Sampel Biota

Sampel biota diambil dengan teknik berbeda sesuai dengan jenis organisme:

- Fitoplankton dan zooplankton diambil dengan jaring plankton berukuran mesh 25 mikron.
- Makrozoobentos diambil dengan ekman grab seluas 0,1 m² dan disaring menggunakan saringan berukuran 0,5 mm.
- Ikan dan krustasea diamati menggunakan jaring insang (gill net) dan perangkap sederhana.
- Sampel dikoleksi, diidentifikasi secara morfologis dengan menggunakan buku identifikasi (Sastrosuwondo et al., 2010), dan dihitung kelimpahannya.

c. Pengambilan Sedimen

Sampel sedimen diambil dari dasar estuaria menggunakan core sampler. Sampel kemudian dikeringkan, diayak, dan dianalisis untuk kandungan bahan organik menggunakan metode Loss on Ignition (LOI). Selain itu, ukuran butiran sedimen dianalisis dengan granulometri.

4. Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan teknik statistik deskriptif dan inferensial.

a. Statistik Deskriptif

Data parameter lingkungan dan biota disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan nilai rerata, standar deviasi, serta kisaran (range). Ini bertujuan untuk menggambarkan kondisi umum ekosistem estuaria.

b. Analisis Statistik

Uji Korelasi Pearson dilakukan untuk mengetahui hubungan antara parameter kualitas air dengan kelimpahan biota. Sementara itu, Analisis Varians (ANOVA) digunakan untuk melihat perbedaan signifikan antar lokasi sampling. Untuk menganalisis hubungan komunitas organisme dengan kondisi lingkungan, digunakan analisis multivariat seperti Principal Component Analysis (PCA) dan Canonical Correspondence Analysis (CCA) dengan bantuan perangkat lunak R.

5. Validitas dan Reliabilitas Data

Agar data yang diperoleh valid, dilakukan kalibrasi alat sebelum dan sesudah pengukuran lapangan. Pengambilan sampel dilakukan secara replikasi sebanyak



tiga kali pada setiap titik pengamatan. Sementara itu, reliabilitas data diuji melalui metode ulangan (replicability) dan uji kesalahan pengukuran.

6. Etika Penelitian dan Izin

Penelitian ini dilakukan dengan tetap memperhatikan etika penelitian lingkungan, tanpa merusak habitat secara permanen. Semua aktivitas lapangan dilakukan berdasarkan izin dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Provinsi Y serta melibatkan masyarakat lokal sebagai mitra pengamatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

a. Parameter Fisik dan Kimia Air

Pengukuran parameter fisik dan kimia di tiga lokasi estuaria menunjukkan variasi yang signifikan sesuai dengan posisi geografis terhadap laut. Suhu air berkisar antara 27,1°C hingga 30,3°C, dengan suhu tertinggi terukur di bagian muara, yang dipengaruhi oleh paparan sinar matahari langsung dan kedangkalan perairan. Salinitas menunjukkan gradasi dari 3‰ di hulu, 14‰ di tengah, hingga 27‰ di muara, mencerminkan kondisi campuran air tawar dan air laut.

pH berkisar antara 6,8–8,2, di mana nilai pH tertinggi terukur di bagian tengah, yang cenderung stabil karena adanya keseimbangan antara air sungai dan air laut. Kadar oksigen terlarut (DO) menurun dari hulu ke muara, dengan nilai DO masing-masing 6,2 mg/L (hulu), 5,4 mg/L (tengah), dan 4,1 mg/L (muara). Penurunan DO di muara diduga akibat akumulasi bahan organik dan dekomposisi tinggi.

Kadar nutrisi, yaitu nitrat dan fosfat, menunjukkan tren peningkatan dari hulu ke muara, dengan nilai nitrat masing-masing 0,4 mg/L, 0,6 mg/L, dan 0,9 mg/L, serta fosfat 0,2 mg/L, 0,3 mg/L, dan 0,5 mg/L. Peningkatan ini mengindikasikan adanya masukan antropogenik, khususnya dari kegiatan pertanian dan pemukiman.

b. Komunitas Biota

Fitoplankton yang teridentifikasi terdiri dari 24 spesies, dengan dominasi *Skeletonema costatum* dan *Thalassiosira* sp. di bagian muara, sementara *Chlorella* sp. dan *Scenedesmus* sp. lebih banyak ditemukan di hulu. Kelimpahan fitoplankton tertinggi terdapat di bagian tengah (1300 individu/L), sedangkan di hulu dan muara masing-masing tercatat 950 individu/L dan 1120 individu/L.

Zooplankton didominasi oleh Copepoda, Rotifera, dan Cladocera. Bagian tengah mencatat kelimpahan zooplankton tertinggi (870 individu/L) yang sejalan dengan kelimpahan fitoplankton sebagai pakan utama.

Makrozoobentos yang ditemukan meliputi Polychaeta, Bivalvia, dan Gastropoda. Di bagian hulu, *Tubifex* sp. mendominasi, yang mencerminkan lingkungan dengan bahan organik tinggi. Di bagian muara, spesies *Nereis* sp. dan *Donax* sp. lebih banyak ditemukan.

Ikan dan krustasea yang berhasil ditangkap meliputi *Mugil cephalus*, *Lates calcarifer*, *Penaeus monodon*, dan *Portunus pelagicus*. Spesies ini menunjukkan pola distribusi berdasarkan salinitas, dengan ikan air payau lebih dominan di tengah, dan spesies laut lebih dominan di muara.

c. Karakteristik Sedimen

Sedimen di hulu didominasi oleh lumpur halus, dengan kandungan bahan organik mencapai 7,2%, menurun menjadi 5,4% di tengah, dan 3,1% di muara. Kandungan bahan organik tinggi di hulu mengindikasikan akumulasi limbah organik dari daratan. Ukuran butiran sedimen juga bervariasi, dengan distribusi granulometri menunjukkan pergeseran dari halus ke kasar dari hulu ke muara.

Pembahasan

a. Dinamika Lingkungan Estuaria

Hasil penelitian menunjukkan bahwa estuaria memiliki karakteristik lingkungan yang sangat dinamis. Gradasi salinitas dari hulu ke muara memberikan kondisi yang kompleks bagi organisme yang hidup di dalamnya. Hal ini sejalan dengan pendapat Kennish (2002) bahwa estuaria merupakan habitat transisi dengan fluktuasi kondisi lingkungan yang tinggi, namun tetap mendukung keanekaragaman hayati yang besar.

Variasi suhu, pH, dan DO di sepanjang gradien estuaria juga memberikan pengaruh langsung terhadap struktur komunitas biota. Penurunan DO di muara menjadi indikasi penting akan potensi eutrofikasi, yang dapat menyebabkan kondisi hipoksia jika tidak dikelola dengan baik. Fenomena ini telah dilaporkan dalam berbagai ekosistem estuaria di Asia Tenggara (Hossain et al., 2013).

b. Produktivitas Biologis

Kelimpahan fitoplankton dan zooplankton yang tinggi di bagian tengah mencerminkan kondisi yang optimal dari segi pencampuran nutrisi dan penetrasi cahaya. Komposisi spesies yang ditemukan menunjukkan bahwa komunitas plankton bersifat indikator terhadap salinitas dan kualitas air. *Skeletonema costatum* yang dominan di muara misalnya, dikenal sebagai indikator perairan eutrofik.

Komunitas makrozoobentos dan ikan juga menunjukkan adaptasi terhadap kondisi lingkungan estuaria. Keberadaan *Tubifex* sp. di hulu menandakan tingginya kandungan bahan organik dan potensi pencemaran. Sebaliknya, dominasi *Donax* sp. dan *Nereis*



sp. di muara memperlihatkan lingkungan dengan arus kuat dan kandungan oksigen rendah, tempat mereka beradaptasi.

c. Dampak Aktivitas Antropogenik

Peningkatan konsentrasi nutrien di sepanjang estuaria menunjukkan kuatnya pengaruh aktivitas manusia. Limbah rumah tangga, pertanian, dan industri menjadi sumber utama pencemar, sebagaimana juga disebutkan oleh Borja et al. (2006). Kandungan nitrat dan fosfat yang melebihi ambang batas dapat menyebabkan pertumbuhan alga berlebih (algal bloom) yang berdampak negatif terhadap rantai makanan dan ketersediaan oksigen.

Kondisi ini menjadi peringatan bahwa meskipun estuaria bersifat produktif, ia juga sangat rentan terhadap gangguan luar. Reklamasi lahan dan eksploitasi berlebihan terhadap sumber daya estuaria dapat menyebabkan degradasi ekosistem jangka panjang. Oleh karena itu, manajemen berkelanjutan dan monitoring rutin perlu dilakukan.

d. Relevansi Terhadap Pengelolaan Wilayah Pesisir

Temuan ini menegaskan pentingnya pendekatan pengelolaan terpadu berbasis ekosistem (EBM) dalam konservasi estuaria. Pendekatan ICZM (Integrated Coastal Zone Management) yang menggabungkan data lingkungan, sosial, dan ekonomi harus diterapkan agar pengelolaan sumber daya estuaria tidak bersifat sektoral dan terpisah.

Pelibatan masyarakat lokal menjadi krusial karena mereka merupakan aktor utama dalam pemanfaatan dan pengawasan lingkungan estuaria. Program edukasi dan penguatan kelembagaan lokal dapat menjadi kunci untuk meningkatkan kesadaran konservasi dan mengurangi tekanan antropogenik secara langsung.

KESIMPULAN

Ekosistem estuaria merupakan wilayah transisi yang unik antara lingkungan air tawar dan air laut. Keunikan ini tercermin dari variasi parameter lingkungan seperti salinitas, suhu, pH, dan kandungan oksigen terlarut yang fluktuatif sepanjang gradien hulu hingga muara. Dinamika ini memberikan tantangan tersendiri bagi organisme yang hidup di dalamnya, namun sekaligus menciptakan kondisi yang sangat produktif secara ekologis.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas air di estuaria mengalami perubahan yang signifikan dari hulu ke muara. Peningkatan salinitas dan nutrien, serta penurunan kadar oksigen terlarut, mengindikasikan adanya tekanan lingkungan yang kuat, terutama di wilayah muara. Kondisi ini menjadi bukti nyata bahwa aktivitas manusia di sekitar daerah aliran sungai memberi pengaruh besar terhadap kualitas ekosistem estuaria.

Keanekaragaman biota di estuaria terbilang tinggi, terutama pada kelompok plankton, makrozoobentos, dan ikan. Distribusi spesies sangat dipengaruhi oleh parameter lingkungan, khususnya salinitas dan bahan organik. Bagian tengah estuaria, yang memiliki keseimbangan antara air tawar dan laut, terbukti menjadi habitat yang paling produktif dan mendukung keberadaan berbagai jenis organisme.

Fitoplankton dan zooplankton yang berlimpah menjadi dasar rantai makanan estuaria, dan memainkan peran penting dalam menopang komunitas ikan dan krustasea. Keberadaan spesies indikator seperti *Skeletonema costatum* dan Copepoda dapat dijadikan parameter biologis dalam memantau kualitas ekosistem. Di sisi lain, dominasi *Tubifex* sp. di hulu menandakan potensi pencemaran oleh bahan organik berlebih.

Peningkatan konsentrasi nitrat dan fosfat yang ditemukan di muara estuaria menjadi sinyal penting atas ancaman eutrofikasi. Jika tidak dikendalikan, kondisi ini dapat memicu ledakan populasi alga yang berujung pada penurunan kualitas air dan kematian massal biota akibat hipoksia. Ancaman tersebut menunjukkan bahwa estuaria adalah ekosistem yang rapuh dan perlu perhatian khusus dalam pengelolaannya.

Upaya konservasi dan rehabilitasi ekosistem estuaria harus dilakukan secara komprehensif. Pendekatan berbasis ekosistem yang mencakup pemantauan kualitas air, restorasi habitat, serta pelibatan masyarakat lokal sangat penting untuk menjaga keberlanjutan fungsi ekologis estuaria. Selain itu, pengendalian pencemaran dari daratan perlu menjadi prioritas dalam kebijakan pengelolaan wilayah pesisir.

Dengan pengelolaan yang tepat, ekosistem estuaria tidak hanya dapat mempertahankan peranannya sebagai tempat berkembang biak dan berlindung bagi biota laut, tetapi juga terus memberi manfaat ekonomi bagi masyarakat sekitar. Penelitian ini menegaskan bahwa perlindungan estuaria adalah langkah strategis untuk menjaga keseimbangan ekosistem pesisir dan laut secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alongi, D. M. (2002). Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, 29(3), 331–349.
- American Public Health Association. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association.
- APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association.



- Baird, D., & Ulanowicz, R. E. (1993). Comparative study on the trophic structure, cycling and ecosystem properties of four tidal estuaries. *Marine Ecology Progress Series*, 99(1), 221–237.
- Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169–193.
- Beck, M. W., Heck Jr., K. L., Able, K. W., et al. (2001). The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *BioScience*, 51(8), 633–641.
- Beck, M. W., Heck Jr., K. L., Able, K. W., et al. (2003). The role of nearshore ecosystems as fish and shellfish nurseries. *Issues in Ecology*, 11, 1–12.
- Bengen, D. G. (2000). *Pengenalan dan pengelolaan ekosistem mangrove*. PKSPL IPB.
- Boesch, D. F. (2002). Challenges and opportunities for science in reducing nutrient over-enrichment of coastal ecosystems. *Estuaries*, 25(4), 744–758.
- Borja, Á., Dauer, D. M., Elliott, M., & Simenstad, C. A. (2010). Medium- and long-term recovery of estuarine and coastal ecosystems: Patterns, rates and restoration effectiveness. *Estuaries and Coasts*, 33(6), 1249–1260.
- Boyd, C. E. (1990). *Water quality in ponds for aquaculture*. Auburn University.
- Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., & Eaton, A. D. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (20th ed.). American Public Health Association.
- Cloern, J. E. (2001). Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series*, 210, 223–253.
- Cloern, J. E., & Jassby, A. D. (2010). Patterns and scales of phytoplankton variability in estuarine–coastal ecosystems. *Estuaries and Coasts*, 33(2), 230–241.
- Day, J. W., Crump, B. C., Kemp, W. M., & Yáñez-Arancibia, A. (2012). *Estuarine ecology* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Dayton, P. K., Thrush, S. F., Agardy, M. T., & Hofman, R. J. (1995). Environmental effects of marine fishing. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 5(3), 205–232.
- Diaz, R. J., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321(5891), 926–929.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., et al. (2006). Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163–182.
- Elliott, M., & McLusky, D. S. (2002). The need for definitions in understanding estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55(6), 815–827.
- Elliott, M., & Whitfield, A. K. (2011). Challenging paradigms in estuarine ecology and management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 94(4), 306–314.
- Gray, J. S., Wu, R. S. S., & Or, Y. Y. (2002). Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Marine Ecology Progress Series*, 238, 249–279.
- Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., et al. (2008). A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319(5865), 948–952.
- Harris, P. T., & Heap, A. D. (2003). Environmental management of sediment and dredging in estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(5–6), 715–726.
- Heck Jr., K. L., Hays, G., & Orth, R. J. (2003). Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. *Marine Ecology Progress Series*, 253, 123–136.
- Hossain, M. S., Dearing, J. A., Rahman, M. M., & Salehin, M. (2013). Recent changes in ecosystem services and human well-being in the Bangladesh coastal zone. *Regional Environmental Change*, 13(2), 439–453.
- Hynes, H. B. N. (1970). *The ecology of running waters*. University of Toronto Press.
- Karr, J. R., & Chu, E. W. (1999). *Restoring life in running waters: Better biological monitoring*. Island Press.
- Keddy, P. A. (2010). *Wetland ecology: Principles and conservation* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Kennish, M. J. (2001). Coastal salt marsh systems in the US: A review of anthropogenic impacts. *Journal of Coastal Research*, 17(3), 731–748.
- Kennish, M. J. (2002). Environmental threats and environmental future of estuaries. *Environmental Conservation*, 29(1), 78–107.
- Levin, L. A., & Talley, D. (2002). Natural and anthropogenic influences on the structure of macrofaunal assemblages in southern California lagoons. *Marine Ecology Progress Series*, 241, 107–123.
- Likens, G. E. (Ed.). (2010). *Biogeochemistry of inland waters*. Elsevier.
- Lotze, H. K., & Milewski, I. (2004). Two centuries of multiple human impacts and successive changes in a North Atlantic food web. *Ecological Applications*, 14(5), 1428–1447.
- Lotze, H. K., Lenihan, H. S., Bourque, B. J., et al. (2006). Depletion, degradation, and recovery potential of



- estuaries and coastal seas. *Science*, 312(5781), 1806–1809.
- McLusky, D. S., & Elliott, M. (2004). *The estuarine ecosystem: Ecology, threats and management* (3rd ed.). Oxford University Press.
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands* (5th ed.). Wiley.
- Nixon, S. W. (1995). Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41(1), 199–219.
- Odum, W. E., McIvor, C. C., & Smith, T. J. (1982). The ecology of the mangroves of south Florida. U.S. Fish and Wildlife Service, FWS/OBS-81/24.
- Paerl, H. W., & Pinckney, J. L. (1996). A mini-review of microbial consortia: Their roles in aquatic production and biogeochemical cycling. *Microbial Ecology*, 31(3), 225–247.
- Parsons, T. R., Maita, Y., & Lalli, C. M. (1984). *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. Pergamon Press.
- Pearson, T. H., & Rosenberg, R. (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology*, 16, 229–311.
- Perillo, G. M. E. (1995). *Geomorphology and sedimentology of estuaries*. Elsevier.
- Peterson, C. H., et al. (2003). Estuarine and coastal ecosystem services: Recovery following major anthropogenic disturbances. *Marine Ecology Progress Series*, 264, 271–286.