



EKOSISTEM AKUATIK

**Keanekaragaman Hayati, Konservasi,
Dampak Manusia, dan Kepentingan Global**

Prof. Dr. Ir. H. Abdunnur, M.Si., IPU., ASEAN Eng.

EKOSISTEM AKUATIK

**Keanekaragaman Hayati, Konservasi,
Dampak Manusia, dan Kepentingan Global**



EKOSISTEM AKUATIK

**Keanekaragaman Hayati, Konservasi,
Dampak Manusia, dan Kepentingan Global**

Prof. Dr. Ir. H. Abdunnur, M.Si., IPU., ASEAN Eng.



RAJAWALI PERS
Divisi Buku Perguruan Tinggi
PT RajaGrafindo Persada
DEPOK

Hak cipta 2026, pada penulis

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isi buku ini dengan cara apa pun,
termasuk dengan cara penggunaan mesin fotokopi, tanpa izin sah dari penerbit

01.2026.....00.02.001

Prof. Dr. Ir. H. Abdunnur, M. Si., IPU., ASEAN Eng.,

EKOSISTEM AKUATIK

(Keanekaragaman Hayati, Konservasi, Dampak Manusia, dan Kepentingan Global)

xxiv, 184 hlm., 23 cm

ISBN 978-623-08-2510-1

Cetakan ke-1, Agustus 2026

Hak penerbitan pada Rajawali Pers, Depok

Copy Editor : Tim RGP

Setter : Khoirul Umam

Desain cover : Tim Kreatif RGP

Dicetak di Rajawali Printing

RAJAWALI PERS

PT RAJAGRAFINDO PERSADA

Anggota IKAPI

Kantor Pusat:

Jl. Raya Leuwinanggung, No.112, Kel. Leuwinanggung, Kec. Tapos, Kota Depok 16456

Telepon : (021) 84311162

E-mail : rajapers@rajagrafindo.co.id <http://www.rajagrafindo.co.id>

Perwakilan:

Jakarta-16456 Jl. Raya Leuwinanggung No. 112, Kel. Leuwinanggung, Kec. Tapos, Depok, Telp. (021) 84311162. **Bandung**-40243, Jl. H. Kurdi Timur No. 8 Komplek Kurdi, Telp. 022-5206202. **Yogyakarta**-Perum. Pondok Soragan Indah Blok A1, Jl. Soragan, Ngestiharjo, Kasihan, Bantul, Telp. 0274-625093. **Surabaya**-60118, Jl. Rungkut Harapan Blok A No. 09, Telp. 031-8700819. **Palembang**-30137, Jl. Macan Kumbang III No. 10/4459 RT 78 Kel. Demang Lebar Daun, Telp. 0711-445062. **Pekanbaru**-28294, Perum De' Diandra Land Blok C 1 No. 1, Jl. Kartama Marpoyan Damai, Telp. 0761-65807. **Medan**-20144, Jl. Eka Rasmi Gg. Eka Rossa No. 3A Blok A Komplek Johor Residence Kec. Medan Johor, Telp. 061-7871546. **Makassar**-90221, Jl. Sultan Alauddin Komp. Bumi Permata Hijau Bumi 14 Blok A14 No. 3, Telp. 0411-861618. **Banjarmasin**-70114, Jl. Bali No. 31 Rt 05, Telp. 0511-3352060. **Bali**, Jl. Imam Bonjol Gg 100/V No. 2, Denpasar Telp. (0361) 8607995. **Bandar Lampung**-35115, Perum. Bilabong Jaya Blok B8 No. 3 Susunan Baru, Langkapura, Hp. 081299047094.



PRAKATA

Alhamdulillah, segala puji dan syukur hanyalah milik Allah *سُبْحَانَهُ وَتَعَالَى*, Rabb Semesta Alam. Sholawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah *صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ*, keluarga, sahabat dan yang mengikuti petunjuk beliau dengan baik hingga akhir zaman. Berkat dan limpahan rahmat-Nya penulis mampu menyelesaikan penyusunan buku yang berjudul *“Ekosistem Akuatik: (Keanekaragaman Hayati, Konservasi, Dampak Manusia, dan Kepentingan Global)”* dengan baik.

Penulis dalam menyusun buku dilandasi oleh ketertarikan akademik yang mendalam terhadap urgensi dan signifikansi ekosistem akuatik sebagai bagian dari integral dari sistem kehidupan bumi yang memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan, mendukung keanekaragaman hayati serta menyediakan berbagai jasa ekosistem yang esensial bagi kehidupan manusia. Keanekaragaman hayati yang terdapat di dalamnya tidak hanya menjadi indikator kesehatan lingkungan, tetapi menjadi sumber ilmu pengetahuan dan potensi ekonomi yang sangat besar, namun demikian, berbagai tekanan akibat aktivitas manusia, seperti pencemaran, eksploitasi berlebihan, serta perubahan iklim, telah memberikan dampak signifikan terhadap kelestarian ekosistem akuatik.

Buku ini disusun untuk mengintegrasikan perspektif ekologi, ekosistem air tawar dan kelautan dalam memahami dinamika ekosistem akuatik, hubungan antara keanekaragaman hayati dan fungsi ekosistem, menganalisis dampak aktivitas antropogenik secara multidimensional, mengeksplorasi kerangka konseptual dan kebijakan konservasi berbasis pengetahuan serta menempatkan ekosistem akuatik dalam konteks kepentingan global. Berbasis pendekatan interdisipliner dan berbasis literatur mutakhir, buku yang telah disusun diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah yang komprehensif bagi akademisi, peneliti, mahasiswa, pembuat kebijakan dan praktisi di bidang perikanan dan kelautan sekaligus memperkuat posisi ilmu ekosistem akuatik dalam menjawab tantangan global yang semakin kompleks.

Harapannya buku ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan ilmu pengetahuan serta meningkatkan kesadaran akan pentingnya menjaga keberlanjutan ekosistem akuatik bagi generasi sekarang dan yang akan datang.

Samarinda, 1 Juli 2026



DAFTAR ISI

PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvii
RINGKASAN	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
BAB 2 KONSEP DAN PRINSIP EKOSISTEM AKUATIK	5
2.1 Definisi dan Ruang Lingkup Ekosistem Akuatik	5
2.2 Struktur dan komponen-komponen pada Ekosistem Akuatik	20
2.3 Fungsi Ekosistem Akuatik	23

BAB 3	KEANEKARAGAMAN HAYATI DALAM EKOSISTEM AKUATIK	25
3.1	Keanekaragaman Hayati pada Ekosistem Air Tawar	28
3.2	Keanekaragaman Hayati pada Ekosistem Laut	35
BAB 4	HABITAT AKUATIK	41
4.1	Habitat Danau dan Lahan Basah	41
4.2	Sungai	43
4.3	Habitat Laut	56
BAB 5	BIOTA AKUATIK	65
5.1	Plankton	65
5.2	Vertebrata	68
5.3	Invertebrata	72
5.4	Amfibi	86
5.5	Marine Fungi	88
5.6	Mikroba	89
BAB 6	DAMPAK AKTIVITAS ANTROPOGENIK TERHADAP EKOSISTEM AKUATIK	101
6.1	Polusi	103
6.2	Overeksploitasi (<i>Overexploitation</i>)	105
6.3	Perubahan Iklim	106
BAB 7	STRATEGI KONSERVASI EKOSISTEM AKUATIK	109
7.1	Konservasi Habitat	111
7.2	Pengelolaan Berbasis Ekosistem	113
7.3	Partisipasi Masyarakat	114

BAB 8	IMPLEMENTASI KONSERVASI EKOSISTEM AKUATIK	117
8.1	Langkah-langkah Implementasi Konservasi Ekosistem Akuatik	118
8.2	Faktor-Faktor Pendorong Keberhasilan Konservasi Ekosistem Akuatik	121
8.3	Tantangan dan Peluang Konservasi Ekosistem Akuatik	128
8.4	Masa Depan Ekosistem Akuatik	131
BAB 9	ESENSI GLOBAL EKOSISTEM AKUATIK	133
9.1	Jasa Ekosistem Akuatik	133
9.2	Nilai Ekonomi dan Sosial	138
9.3	Konservasi dan Pengelolaan Ekosistem Perairan yang Berkelanjutan	143
BAB 10	KERJA SAMA INTERNASIONAL DAN KONSERVASI EKOSISTEM AKUATIK	147
10.1	Kerja Sama Internasional	147
10.2	Konvensi dan Perjanjian Internasional	150
10.3	Implementasi dan Pemantauan	153
BAB 11	KESIMPULAN DAN REKOMENDASI UNTUK MASA DEPAN EKOSISTEM AKUATIK	155
11.1	Kesimpulan dan Penutup	155
11.2	Rekomendasi	158
	REFERENSI	161
	GLOSARIUM	175
	INDEKS	179
	BIOGRAFI PENULIS	181





DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Siklus Hidrologi	9
Gambar 2.	<i>Cross-section View of The Estuary</i> dan Distribusi Vertikal Elemen Penting di Muara	11
Gambar 3.	Penampang Memanjang Area Muara	13
Gambar 4.	Jaring Makanan pada Ekosistem Muara	14
Gambar 5.	Nomenklatur Ekosistem Laut	17
Gambar 6.	Penetrasi Cahaya pada Lautan Terbuka dan Perairan Pantai	19
Gambar 7.	<i>Tropic pyramid</i> pada ekosistem laut	22
Gambar 8.	Keanekaragaman Spesies Air Tawar Global	29
Gambar 9.	Keanekaragaman Alga Hijau <i>Ulvophyceae</i> : a) <i>Ulva</i> ; b) <i>Caulerpa</i> ; c): <i>Bornetella</i> , d): <i>Dictyosphaeria</i>	37
Gambar 10.	Alga Merah	39
Gambar 11.	Spesies Alga Coklat	40
Gambar 12.	Diagram Skematis Zona Sungai dan Hubungan Hulu (<i>Upstream</i>)-Hilirnya (<i>Downstream</i>)	45
Gambar 13.	Karakteristik Urutan Pola Saluran Sungai	47

Gambar 14. Contoh Karakteristik Morfologi Sungai	54
Gambar 15. Keragaman spesies pada habitat laut termasuk <i>sponge aggregations</i> (kiri atas), <i>maërl beds</i> (kanan atas), <i>deep-sea coral gardens</i> (kiri bawah) dan habitat pelagis yang terkait dengan kolom air (kanan bawah)	58
Gambar 16. Klasifikasi Kelas Utama Terumbu Karang	59
Gambar. 17. Jenis-Jenis Karang Berdasarkan Teksturnya	60
Gambar 18. Terumbu Karang	60
Gambar 19. Seagrass	61
Gambar 20. Manifestasi Pneumatophores pada Mangrove	62
Gambar 21. Kristal Garam pada Daun <i>Avicennia marina</i>	63
Gambar 22. Vivipari pada <i>Rhizophora mangle</i> (Biji Berkecambah saat Masih Berada di Pohon Induk)	64
Gambar 22. Spesies Plankton pada Ekosistem Laut	66
Gambar 23. Zooplankton (meliputi <i>Fish Eggs</i> , <i>Tunicates</i> , <i>Several Species of Copepods</i> , <i>Gastropod and Decapod Larva</i>)	66
Gambar 24. Keanekaragaman dan Variabilitas Cangkang Moluska (terutama Bivalvia dan Gastropoda)	74
Gambar 25. Annelida laut Spesies polychaetes (dari kiri ke kanan): <i>Sabellaastarte</i> sp, <i>Tomopteris</i> sp., <i>Spirobranchus giganteus</i> , <i>Alitta virens</i> , <i>Eunice aphroditois</i> , dan <i>Alvinella pompejana</i>	77
Gambar 26. <i>Branchiodrilus</i> sp. (Naidinae, Naididae)	77
Gambar 27. (A) Genus <i>Baikalodrilus</i> (Tubificinae, Naididae) dan (B) <i>Manayunkia athalassia</i>	78
Gambar 28. (A) Lintah <i>Croatobranchus mestrovim</i> dan (B) <i>Marifugia cavatica</i>	78
Gambar 29. Keanekaragaman Echinodermata	80

Gambar 30. Pelagic Ctenophores: a) <i>Beroe ovata</i> ; b) <i>Euplokamis</i> sp.; c) <i>Nepheloctena</i> sp.; d) <i>Bathocyroe fosteri</i> ; e) <i>Mnemiopsis leidyi</i> ; dan f) <i>Ocyropsis</i> sp.	82
Gambar 31. Penampang Melintang Ctenophora Cydippid	83
Gambar 32. Nematoda	84
Gambar 33. <i>Yellow Tube Sponges</i> dan Struktur Utama Tubuh Sponges	85
Gambar 34. Marbafia	86
Gambar 35. Cyanobacteria	91
Gambar 36. Diagram aliran karbon melalui <i>microbial food webs</i>	99
Gambar 37. Diagram Skematis Faktor Pendorong Keberhasilan Konservasi Ekosistem Akuatik	121
Gambar 38. Diagram Layanan Ekosistem Perairan	134





DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Klasifikasi Plankton berdasarkan Ukuran	67
Tabel 2.	Jenis Annelida Berdasarkan Habitatnya	75
Tabel 3.	Kemampuan Adaptasi Annelida Berdasarkan Lingkungannya	75
Tabel 4.	Asosiasi Mikroba dengan Ikan berdasarkan Habitatnya	94
Tabel 5.	Nilai Ekonomi Ekosistem Mangrove	140
Tabel 6.	Nilai Ekonomi Terumbu Karang	140





DAFTAR SINGKATAN

AI	: <i>Artificial Intelligence</i>
ATSEA	: <i>Arafura Timor Seas Ecosystem Action</i>
AUVs	: <i>Autonomous Underwater Vehicles</i>
BBNJ	: <i>Biodiversity Beyond National Jurisdiction</i>
BEWS	: <i>Biological Early Warning Systems</i>
CTI	: <i>Coral Triangel Initiative</i>
DESI	: <i>DLR Earth Sensing Imaging Spectrometer Hyperspectral</i>
DNA	: <i>Deoxyribo Nucleic Acid</i>
EBM	: <i>Ecosystem Based Management</i>
EVIKA	: <i>Evaluation Assessment of The Effectiveness of Conservation Area Management</i>
ICZM	: <i>Integrated Coastal Zone Management</i>
IoT	: <i>Internet of Things</i>
IUU	: <i>Illegal, Unreported, and Unregulated</i>
KKL	: <i>Kawasan Konservasi Laut</i>

KKP	: Kementerian Kelautan dan Perikanan
KLHK	: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
METT	: <i>Management Effectiveness Tracking Tool</i>
MPA	: <i>Marine Protected Areas</i>
MSM	: <i>Multi-Sensor Microsystems</i>
PAHs	: <i>Polycyclic Aromatic Hydrocarbons</i>
PBB	: Perserikatan Bangsa-Bangsa
pH	: <i>Potential of Hydrogen</i>
PLTA	: Pembangkit Listrik Tenaga Air
PRISMA	: <i>Precursore Iperspettrale Della Missione Applicativa</i>
PSMA	: <i>Fao's Port State Measures Agreement</i>
ROVs	: <i>Remotely Operated Vehicles</i>
SAV	: <i>Submerged Aquatic Vegetation</i>
SBNs	: <i>Smart Buoy Networks</i>
TDS	: <i>Total Dissolves Solids</i>
VME	: Vulnerable Marine Ecosystems







RINGKASAN

Ekosistem akuatik merupakan sistem kehidupan perairan yang mencakup seluruh lingkungan air di bumi, baik ekosistem air tawar, payau, maupun laut. Ekosistem akuatik meliputi sungai, danau, rawa, estuari, mangrove, padang lamun, terumbu karang, hingga samudra yang menjadi habitat bagi jutaan flora dan fauna dengan tingkat keanekaragaman hayati sangat tinggi. Ekosistem akuatik dalam sistem biosfer global memiliki fungsi mendasar sebagai penyangga kehidupan melalui penyediaan air, penghasil oksigen, pengatur iklim, penyimpan karbon, serta sumber pangan dan energi bagi manusia. Ekosistem perairan juga menjadi pusat interaksi biologis yang kompleks antara organisme mikroskopis hingga vertebrata tingkat tinggi yang membentuk rantai makanan dan aliran energi secara dinamis.

Ekosistem perairan memiliki keanekaragaman ekologis yang tinggi dan menyediakan berbagai layanan dan/atau jasa ekosistem bagi masyarakat di seluruh dunia (meliputi penyediaan sumber daya material dan biologis, industri perikanan, akuakultur, dan pariwisata) dan menyediakan jasa berharga (seperti pemurnian air, mitigasi banjir, penyerapan karbon, dan pengaturan iklim) yang bermanfaat bagi masyarakat dan ekosistem di seluruh dunia. Keanekaragaman hayati dalam ekosistem akuatik mencerminkan tingginya kompleksitas ekologis yang terdapat di lingkungan perairan. Fitoplankton sebagai

produsen primer menjadi dasar utama produktivitas biologis melalui proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen dan biomassa organik. Zooplankton, benthos, moluska, krustasea, ikan, amfibi, reptil, burung air, hingga mamalia akuatik membentuk jaringan trofik yang menjaga keseimbangan ekosistem. Habitat seperti terumbu karang dan mangrove dikenal sebagai pusat biodiversitas global karena mendukung ribuan spesies flora dan fauna dalam satu sistem ekologis yang saling bergantung.

Organisme perairan, dari fitoplankton hingga mamalia besar, merupakan bagian integral dalam mempertahankan akuakultur dan perikanan, berfungsi sebagai sumber protein dan nutrisi bagi jutaan orang di seluruh dunia. Perairan menyediakan sumber protein utama melalui sektor perikanan tangkap dan budidaya, mendukung transportasi, pariwisata, industri, serta menjadi sumber air bersih bagi kebutuhan domestik dan pertanian. Masyarakat pesisir dan pedalaman banyak yang bergantung secara langsung pada keberadaan sumber daya perairan untuk mempertahankan kehidupan dan mata pencaharia. Ekosistem akuatik khususnya laut dalam konteks global turut memainkan peran penting dalam perdagangan internasional, stabilitas ekonomi, dan ketahanan pangan dunia. Hal demikian mengindikasikan bahwa secara ekologis ekosistem akuatik berperan besar dalam kehidupan sosial dan ekonomi manusia.

Keanekaragaman hayati perairan memiliki makna budaya dan spiritual yang sangat besar bagi masyarakat adat dan pesisir, yang bergantung pada sumber daya perairan untuk penghidupan, praktik budaya, dan identitas mereka, sehingga upaya perlindungan dan pelestarian keanekaragaman hayati perairan sangat penting, tidak hanya untuk keberlanjutan ekologis tetapi juga untuk melestarikan warisan budaya dan pengetahuan tradisional yang terkait dengan ekosistem perairan. Ekosistem perairan, seperti lahan basah dan hutan mangrove juga berfungsi sebagai penyangga alami terhadap gangguan lingkungan, mengurangi dampak banjir, badai, dan erosi, sehingga keberlangsungan ekosistem perairan yang sehat sangat diperlukan untuk menjaga ketahanan baik dalam sistem alam maupun sistem buatan manusia.

Ekosistem dan spesies perairan semakin terancam oleh faktor alam dan aktivitas manusia, dengan penurunan keanekaragaman hayati dan fungsi ekologis secara global selama beberapa dekade terakhir. Polusi,

dari sumber titik dan tersebar seperti limpasan pertanian, limbah industri, dan sampah plastik, menurunkan kualitas air, menyebabkan eutrofikasi, hipoksia, dan akumulasi racun berbahaya yang mengganggu rantai makanan dan stabilitas habitat. Penangkapan ikan berlebihan (*overfishing*), praktik penangkapan ikan yang tidak berkelanjutan, dan spesies asing invasif mengganggu keseimbangan ekologis, merusak jaring makanan, dan menurunkan kualitas habitat. Gangguan langsung terhadap habitat akibat aktivitas manusia seperti pembangunan pesisir, pembangunan bendungan, dan pengambilan sedimen-memecah dan merusak sistem perairan, berdampak pada keanekaragaman hayati dan ketahanan ekosistem. Aktivitas antropogenik yang akut tersebut berdampak perubahan iklim, seperti kenaikan suhu, deoksigenasi, pengasaman laut, kenaikan permukaan laut, dan perubahan pola curah hujan. Perubahan struktural yang signifikan akibat peningkatan suhu, perubahan kimia air dan gangguan siklus biogeokimia. Perubahan tersebut diproyeksikan akan terus meningkat dalam beberapa dekade kedepan dan berpotensi mempengaruhi distribusi spesies, produktivitas ekosistem dan stabilitas jaringan trofik. Perubahan iklim global turut memperburuk kondisi ekosistem akuatik melalui peningkatan suhu perairan, perubahan pola arus laut, kenaikan muka air laut, dan meningkatnya frekuensi cuaca ekstrem. Dampak tersebut menyebabkan perubahan distribusi spesies, gangguan reproduksi organisme akuatik, pemutihan terumbu karang, hingga hilangnya habitat penting seperti mangrove dan padang lamun. Perubahan tersebut dalam jangka panjang tidak hanya mengancam biodiversitas, tetapi juga memengaruhi stabilitas ekonomi dan sosial masyarakat yang bergantung pada sumber daya perairan oleh karenanya konservasi dan pelestarian spesies menjadi prioritas.

Upaya konservasi telah dilakukan untuk menjaga keberlanjutan ekosistem akuatik, seperti pembentukan kawasan konservasi perairan, restorasi habitat, pengelolaan perikanan berkelanjutan, integrasi kebijakan global lintas sektor yang mempertimbangkan interaksi ekologis dan sosial hingga penerapan teknologi monitoring berbasis satelit dan kecerdasan buatan. Pendekatan *ecosystem-based management* menjadi strategi penting karena mempertimbangkan keterkaitan antar komponen ekosistem dan dampak aktivitas manusia secara menyeluruh. Upaya tersebut memerlukan dukungan ilmu pengetahuan, kebijakan

pemerintah, partisipasi masyarakat, dan kerja sama internasional agar pengelolaan sumber daya akuatik dapat berlangsung secara berkelanjutan. Ekosistem akuatik secara keseluruhan, merupakan fondasi penting bagi keberlanjutan kehidupan bumi. Keanekaragaman hayati yang terdapat di dalamnya tidak hanya memiliki nilai ekologis, tetapi juga menjadi sumber ekonomi, sosial, budaya, dan ilmiah bagi manusia. Menghadapi tekanan global akibat aktivitas manusia dan perubahan iklim, perlindungan dan pengelolaan ekosistem akuatik secara berkelanjutan menjadi tanggung jawab bersama seluruh masyarakat dunia. Pemahaman yang komprehensif mengenai fungsi, ancaman, dan pentingnya ekosistem akuatik diharapkan mampu meningkatkan kesadaran global untuk menjaga kelestarian sumber daya perairan demi keberlangsungan kehidupan generasi masa depan.



REFERENSI

- Abdunnur. (2020a). *Manajemen Pengelolaan Ekosistem Mangrove (Peningkatan Produktivitas Ekosistem Mngrove Delta Mahakam)*. PT RajaGrafindo Persada.
- Abdunnur. (2020b). Nexus of fisheries and agriculture production and urbanization on ecological footprint : new evidence from Indonesian. *Journal of Energy Economics and Policy*, 10(3), 190–195. <https://doi.org/10.32479/ijeep.9172>.This
- Abdunnur, Kiyoshi, Y., & Kunino, K. (2020). $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ Stable Isotope Ratio Analysis of Fish Species and Mangrove Leaf on Mangrove Ecosystem of Muara Badak Coastal Area-East Kalimantan, Indonesia. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7(7), 1–10. https://www.researchgate.net/profile/Abdunnur-Abdunnur/publication/353914168_European_Journal_of_Molecular_Clinical_Medicine_d_13_C_and_d_15_N_Stable_Isotope_Ratio_Analysis_of_Fish_Species_and_Mangrove_Leaf_on_Mangrove_Ecosystem_of_Muara_Badak_Coastal_Area-East_Kalimantan_Indo/links/61189aed1ca20f6f862270bb/European-Journal-of-Molecular-Clinical-Medicine-d-13-C-and-d-15-N-Stable-Isotope-Ratio-Analysis-of-Fish-Species-and-Mangrove-Leaf-on-Mangrove-Ecosystem-of-Muara-Badak-Coastal-Area-East-Kalimantan-I.pdf

- Achieng, A. O., Arhonditsis, G. B., Mandrak, N., Febria, C., Opaa, B., Coffey, T. J., Masese, F. O., Obiero, K., Irvine, K., Barasa, J. E., & B, K. A. (2023). Monitoring biodiversity loss in rapidly changing Afrotropical ecosystems : An emerging imperative for governance and research . *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 378(1881), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0271>
- Altowairqi, T. K., & Shafi, M. E. (2024). A comprehensive review of the biodiversity of freshwater fish species in Valleys worldwide and in the Kingdom of Saudi Arabia. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 11(2), 356–366. <https://doi.org/http://doi.org/10.5455/javar.2024.k784>
- Arkan, M. H., & Maharani, N. L. (2025). Kontribusi Timor-Leste dalam Penegakan Hukum Laut Internasional : Studi Kasus Ratifikasi UNCLOS dan Perjanjian BBNJ. *Media Hukum Indonesia*, 2(6), 352–358.
- Arthington, A. H., Dulvy, N. K., Gladstone, W., & Winfield, I. A. N. J. (2016a). *Fish conservation in freshwater and marine realms : status , threats and management*. 857(July), 838–857. <https://doi.org/10.1002/aqc.2712>
- Arthington, A. H., Dulvy, N. K., Gladstone, W., & Winfield, I. A. N. J. (2016b). *Fish conservation in freshwater and marine realms : status , threats and management*. 857(March), 838–857. <https://doi.org/10.1002/aqc.2712>
- Baker, D. J., Bowman, T., Byrne, J., Connor, M., Cortina, J., Cortina, J., Dalrymple, R., Dierking, L., Eichbaum, W., Falk, J., Friedman, A., Grabowski, M., Nichol, M., Patzert, W., Pomponi, S., Reeburgh, W., & Sharp, J. (2009). Marine Ecosystems and Fisheries. *Balancing Ecosystem Sustainability and the Socio-Economics of Fisheries*, May.
- Balasubramanian, A. (2011). Aquatic Ecosystems-Freshwater Types. *Conference: Country-Wide Class Room Educational TV Programme-Gyan DarshanAt: EMRC-MYSOREAffiliation: University of Mysore*, 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22783.20642>

- Barbosa, L. G., Ostrovsky, I., Morais, M., Anufriieva, E., Parra, G., Zadereev, E., Camacho, A., Schwalb, A., Bagella, S., Menezes, R. F., Soto, L. M., López, C., Ilheu, M., Morales, E. A., Saber, A. A., Kara, H., Riad, P., Teshome, G., & Shadrin, N. (2025). Consequences of human conflicts on aquatic ecosystems in drylands areas: Future management perspective. *Journal of Arid Environments*, 229. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2025.105375>
- Barletta, M. (2026). Climate change and microplastic pollution in aquatic ecosystems : ecological and societal consequences. *Frontiers in Science*, January, 1–3. <https://doi.org/10.3389/fsci.2025.1721629>
- Baron, J. S., Poff, N. L., Angermeier, P. L., Dahm, C. N., Gleick, P. H., Nelson G. Hairston, J., Jackson, R. B., Johnston, C. A., Richter, B. D., & Steinman, A. D. (2002). Meeting Ecological and Societal Needs for Freshwater. *Ecological Applications*, 12(5), 1247–1260.
- Baxter, S. (2021). *Marine Biology 101*. https://uploads.teachablecdn.com/attachments/UdbmWvZS9aR6iaENK5i5_Lecture+1+-+Marine+Habitats.pdf
- Beamer, T. J., & Liermann, M. (2005). A Classification of Habitat Types in a Large River and Their Use by Juvenile Salmonids. *Transactions of the American Fisheries Societ*, 134, 717–729. <https://doi.org/10.1577/T04-062.1>
- Brachet, C., Magnier, J., Valensuela, D., Petit, K., Fribourg-Blanc, B., Bernex, N., Scoullos, M., & Tarlock. (2015). *The Handbook for Management and Restoration of Aquatic Ecosystems in River and Lake Basins*. Basis Management Publication.
- Brander, L. M., Groot, R. de, Schagner, J. ., Guisado-Goni, Hoff, V. van 't, Solomonides, S., McVittie, A., Eppink, F., Sposato, M., Do, L., Ghermandi, A., Sinclairj, M., & Thomas, R. (2024). Economic values for ecosystem services : A global synthesis and way forward. *Ecosystem Services*, 66, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101606>

- Carvalho, F. G. De, Loyau, A., Kelly, M., & Dirk, I. (2025). Aquatic ecosystem indices , linking ecosystem health to human health risks. In *Biodiversity and Conservation* (Vol. 34, Issue 3). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10531-025-03010-3>
- Chaturvedi, P., Rajeshbhai, B., Borichangar, R. V, Hu, S., Shinglai, C., Biju, B., Maurya, N. K., Aitwar, V., Dubey, S., Bhooleshwari, & M.T, L. (2025). Economic and Ecological Insights into Aquatic Ecosystem Services : Exploring Multifunctional Benefits. *Asian Research Journal of Current Science*, 7(1), 119–131. <https://doi.org/https://doi.org/10.56557/arjocs/2025/v7i1135>
- Crump, B. C., & Bowen, J. L. (2024a). The Microbial Ecology of Estuarine Ecosystems. *Annual Refiew of Marine Science*, 335–360.
- Crump, B. C., & Bowen, J. L. (2024b). The Microbial Ecology of Estuarine Ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, 16, 335–360. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-marine-022123-101845>
- Curtin, R., & Raul Prellezo. (2010). Understanding marine ecosystem based management: A literature review. *Marine Policy*, 34(5), 821–830. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpol.2010.01.003>
- Daam, M. A., Teixeira, H., Lillebø, A. I., & Nogueira, A. J. A. (2019). Science of the Total Environment Establishing causal links between aquatic biodiversity and ecosystem functioning : Status and research needs. *Science of the Total Environment*, 656, 1145–1156. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.413>
- Declerck, S. A. J., & Domis, L. N. de S. (2023). Contribution of freshwater metazooplankton to aquatic ecosystem services : an overview. *Hydrobiologia*, 850(12), 2795–2810. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05001-9>
- Dolbeth, M., & Arenas, F. (2021). Marine Ecosystems: Types, Their Importance and Main Impacts. In T. Leal Filho, W., Azul, A.M., Brandli, L., Lange Salvia, A., Wall (Ed.), *Live Below Water* (pp. 1–17). Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer, Cham. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-71064-8_38-1

- Domis, L. N. D. S., & Robson, B. J. (2024). *Structure and Productivity of Aquatic Ecosystems*. 209–228. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822701-5.00009-4>
- Dormann, C. F., & Schroder, A. (2021). *Marine Ecology Notes*. No-One Specifically.
- Ekpo, I. E., & Ibok, M. A. E. (2023). Impacts Of Human Population Growth On The Aquatic Ecosystems : A Global View. *Contemporary Discourse on Nigeria's Economic*, 1(1), 101–122.
- Esser, M., Brinkmann, M., & Hecker, M. (2024). Solving freshwater conservation challenges through next-generation sequencing approaches. *Environmental Science Advances*, 3, 1181–1196. <https://doi.org/10.1039/d4va00112e>
- Faghihinia, M., Xu, Y., Liu, D., & Wu, N. (2021). Freshwater biodiversity at different habitats : Research hotspots with persistent and emerging themes. *Ecological Indicators*, 129, 107926. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107926>
- Favilla, A. B., & Costa, D. P. (2020). Thermoregulatory Strategies of Diving Air-Breathing Marine Vertebrates : A Review. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8(September). <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.555509>
- Ferreira, V., Mauricio, L., María, B., & González, D. L. Á. (2023). Aquatic ecosystem services : an overview of the Special Issue. *Hydrobiologia*, 850(12), 2473–2483. <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05235-1>
- Fraschetti, S., Strong, J., Buhl-Mortensen, L., Foglini, F., Gonçalves, J. M. S., González-Irusta, J. M., Lillis, H., Lindegarth, M., Martin, G., Menot, L., O’Keeffe, E., Pascoal, A., Salomidi, M., & Schoening, T. (2024). *Marine Habitat Mapping* (S. J. J. Heymans (ed.); First edit, Issue June). European Marine Board.
- Fynnisa, Z., Nugroho, E. D., Sakaria, F. S., Juniatmoko, R., Situmorang, Natalis, M. T., Sinurat, James, Setyono, B. D. H., Polapa, F. S., Arida, V., Laksani, M. R. T., Zulharnah, Octorina, P., Siahaya, & Netty, A. (2024). *Ekologi Perairan*. Widina Media Utama.

- Geist, J., & Hawkins, S. J. (2016). Habitat recovery and restoration in aquatic ecosystems: current progress and future challenges. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 26(5), 942–962. <https://doi.org/10.1002/AQC.2702>
- Glasby, C. J., Erséus, C., & Martin, P. (2021). Annelids in Extreme Aquatic Environments: Diversity, Adaptations and Evolution. *Diversity*, 13(98), 1–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/d13020098>
- Griffiths, J. R., Kadin, M., Nascimento, F. J. A., Tamelander, T., Tornroos, A., Bonaglia, S., Bonsdorff, E., Bruchert, V., Gardmark, A., Janrnstrom, M., Kotta, J., Lindegren, M., Nordstrom, M. C., Norkko, A., Olsson, J., Weigel, B., Zydelis, R., Blenckner, T., Niiranen, S., & Winder, M. (2017). *The importance of benthic – pelagic coupling for marine ecosystem functioning in a changing world*. 23, 2179–2196. <https://doi.org/10.1111/gcb.13642>
- Heip, C., Hummel, H., Avesaath, P. Van, Appeltans, W., Arvanitidis, C., Aspden, R., Austen, M., Boero, F., Bouma, T., Boxshall, G., Buchholz, F., Crowe, T., Delaney, A., Deprez, T., Emblow, C., Feral, J., Gasol, J., Gooday, A., Harder, J., ... Nash, R. (2009). Marine Biodiversity & Ecosystem Functioning. In *Printbase, Dublin, Ireland*.
- Heth, R. L. S., & Bowles, D. E. (2022). Aquatic Macroinvertebrate Community Structure along a Continuum in a Spring Dominated River , Missouri , USA. *Hydrobiology*, 1(4), 518–530. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/hydrobiology1040031>
- Hillebrand, H., Baums, I. B., C, K. C., Dajka, J. C., Franke, A., Hodapp, D., Laakmann, S., Levi, S., Mccarthy, A., Striebel, M., Tallon, A. K., & Happe, A. (2026). Towards a broader perspective on marine biodiversity change. *Marine Biodiversity*, 56(1), 1–20.
- Hitt, N. P., Bonneau, L. K., Jayachandran, K. V, & Marchetti, M. P. (2015). *Freshwater Ecosystems and Biodiversity*. 5, 5–16.
- Hohensinner, S., Hauer, C., & Muhar, S. (2018). River Morphology, Channelization, and Habitat Restoration. In S. Schmutz & J. Sendzimir (Eds.), *Riverine Ecosystem Managemen: Science for Governing Towards a Sustainable Future* (Aquatic Ec, pp. 41–65). Springer International Publishing. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3_3

- Hu, J., & Han, G. (2025). *Impacts of Environmental Change and Human Activities on Aquatic Ecosystems*. 1–7.
- Huang, W., & Han, Y. (2025). Habitat Degradation and Restoration in Aquatic Ecosystems: Implications for Fish Populations. *International Journal of Aquaculture*, 15(4), 175–183. <https://doi.org/https://doi.org/10.5376/ija.2025.15.0017>
- Irfan, S., & Alatawi, A. M. M. (2019). Aquatic Ecosystem and Biodiversity: A Review. *Open Journal of Ecology*, 09(01), 1–13. <https://doi.org/10.4236/oje.2019.91001>
- Isnainingsih, N. R., & Patria, M. P. (2018). Peran Komunitas Moluska dalam Mendukung Fungsi Kawasan Mangrove di Tanjung Lesung, Pandeglang, Banten. *Jurnal Biotropika*, 6(2), 35–44. <https://doi.org/https://doi.org/10.21776/ub.biotropika.2018.006.02.01>
- Jr, J. W. D., Ya'nez-Arancibia, A., W. Michael Kemp, ~, & C. Crump, B. (2012). CHAPTER ONE INTRODUCTION TO ESTUARINE. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/1351438>
- Kesharee, R., Punj, P., Nandan, L., Gogoi, J., & Chakraborty, S. (2026). Cladocerans and copepods as bioindicators of aquatic ecosystem health : Ecological roles , anthropogenic stressors and limitations. *Ecological Indicators*, 184(February), 114712. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2026.114712>
- Khojasteh, D., Rao, S., Mcsweeney, S., Ibaceta, R., Nicholls, R. J., French, J., Glamore, W., Largier, J. L., Adams, J., Hughes, M. G., Barry, M., Power, H. E., Du, J., Tucker, T. A., Cienfuegos, R., Catalan, P. A., & Hanslow, D. (2025). Intermittent estuaries deserve global attention as vulnerable and vital ecosystems. *Communications Earth & Environment*, 6(443), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02428-5>
- Khosrovyan, A. (2024). *Biodiversity and Ecosystem Services in Rivers*. 4–9.
- Langhans, S. D., Jähnig, S. C., Lago, M., Schmidt-Kloiber, A., & Hein, T. (2019). The potential of ecosystem-based management to integrate biodiversity conservation and ecosystem service provision in aquatic ecosystems. *Science of The Total Environment*, 672, 1017–1020. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.025>

- Loiseau, V., Gendreau, Y., Calosi, P., & Cusson, M. (2024). Estuarine , Coastal and Shelf Science Freshwater input significantly reduces specific and functional diversity of small subarctic estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 305(February), 108856. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2024.108856>
- Lotze, H. K. (2021). Marine biodiversity conservation. *Current Biology Magazine*, 31(19), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.06.084>
- Madina, K. (2025). *Establishing High Seas Conservation with the BBNJ Agreement*. Green Network. <https://greennetwork.asia/gna-knowledge-hub/establishing-high-seas-conservation-with-the-bbnj-agreement/>
- Martin, A. H., B, M. I. E. S., & O'Leary, B. C. (2023). Changing the narrative and perspective surrounding marine fish. *Marine Policy*, 156(August), 105806. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105806>
- Maulana, H., Anggoro, S., & Yulianto, B. (2016). Kajian Kondisi dan Nilai Ekonomi Manfaat Ekosistem Terumbu Karang di Pantai Wediombo , Kabupaten Gunung Kidul , Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Lingkungan*, 14(2), 82–87. <https://doi.org/10.14710/jil.14.2.82-87>
- Mayulu, H., & Abdunnur. (2021). The Policy on The Development of Integrated Coastal and Livestock Area Based on Geospatial in East Kalimantan. *Technium BioChemMed*, 2(3), 35–41. https://www.researchgate.net/publication/354099459_The_Policy_on_The_Development_of_Integrated_Coastal_and_Livestock_Area_Based_on_Geospatial_in_East_Kalimantan
- Mayulu, H., Anjani, F. M., Indana, K., Abdunnur, Supaningtyas, J. F., & Prasetya, F. (2024). Mangrove Feedstock Potentials for Ruminant. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 19(4), 349–359. <https://doi.org/10.3844/ajavsp.2024.349.359>
- Mendes, M., & Burdett, H. L. (2025). Internationalisation, Collaboration and Responsiveness of Aquatic Conservation Research Across Three Decades of Publication. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 35(4), 1–11. <https://doi.org/10.1002/aqc.70123>

- Montano, L., Harrison, A., Henderson, B., Coleman, M. A., Raoult, V., Taylor, M. D., Gaston, T., Dwyer, P. G., Costanza, R., Dansie, A., & Glamore, W. (2025). The value of Australian aquatic ecosystem services. *Ecosystem Services*, 76(March), 101786. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2025.101786>
- Nations, U. (2023). *Agreement under the United Nations Convention on the Law of the Sea on the Conservation and Sustainable Use of Marine Biological Diversity of Areas beyond National Jurisdiction* (pp. 1–10). <https://indonesia.un.org/sites/default/files/2026-01/Overview - Agreement under the United Nations Convention on the Law of the Sea on the Conservation and Sustainable Use of Marine Biological Diversity of Areas beyond National Jurisdiction.pdf>
- Nepal, S., Pandey, A., Shrestha, A. B., & Mukherji, A. (2018). *Revisiting Key Questions Regarding Upstream – Downstream Linkages of Land and Water Management in the Hindu Kush Himalaya (HKH) Region*.
- Nogueira, M. G., & Kane, D. D. (2025). Aquatic Ecosystems : Biodiversity and Conservation. *Water*, 17(15), 1–6.
- Oleynik, H. A., Bizzarro, J. J., Hale, E. A., & Carlisle, A. B. (2024). Environmental drivers of biogeography and community structure in a Mid - Atlantic estuary. *Oecologia*, 204(3), 543–557. <https://doi.org/10.1007/s00442-023-05500-z>
- Ottaviani, D. (2020). *Economic value of ecosystem services from the deep seas and the areas beyond national jurisdiction*. FAO Fisheries and Agriculture Circular. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca8340en>
- Pander, J., & Geist, J. (2013). Ecological indicators for stream restoration success. *Ecological Indicators*, 30, 106–118. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.01.039>
- Peter, C. (2024). Aquatic Biodiversity : A Key Component of Global Ecosystems. *Poultry , Fisheries & Wildlife Sciences*, 12(100), 1–2. <https://doi.org/10.35248/2375-446X.24.12.257>

- Qin, J., Ma, Z., & Li, Y. (2025). Review and Outlook for Research and Development in Aquatic Life and Ecosystems. *Aquatic Life and Ecosystems*, 1(1), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.53941/ale.2025.100002>
- Quinn, J. M., Green, M. O., Schallenberg, M., Young, R. G., Tanner, C., Swales, A., Quinn, J. M., Green, M. O., Schallenberg, M., Young, R. G., Tanner, C. C., & Management, A. S. (2026). Management and rehabilitation of aquatic ecosystems : introduction and synthesis. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 51(1), 1–6. <https://doi.org/10.1080/00288330.2016.1269815>
- Radjawane, I. M., Mughny, G. P., Napitupulu, G., Oseanografi, K., & Ilmu, F. (2024). Karakteristik Estuari di Muara Angke pada Musim Timur. *Jurnal Kelautan Tropis*, 27(1), 28–38.
- Richardson, J. S. (2019). Biological Diversity in Headwater Streams. *Water*, 11(2), 1–19. <https://doi.org/10.3390/w11020366>
- Rouillard, J., Lago, M., Abhold, K., Ro, L., Kafyeke, T., Mattheiß, V., & Klimmek, H. (2018). Protecting aquatic biodiversity in Europe : How much do EU environmental policies support ecosystem-based management ? *Ambio*, 47, 15–24. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0928-4>
- Salayan, L. M., Wulandari, H., & Huda, M. K. (2024). Peran Ekosistem Laut dalam Konservasi Keanekaragaman Hayati Di Indonesia The Role of Marine Ecosystems in Biodiversity Conservation in Indonesia. *Journal of Natural Sciences*, 5(3), 234–244. <https://doi.org/10.34007/jonas.v5i3.717>
- Salim, S. S., Shridhar, N., & M, R. R. (2015). Economic valuation of marine ecosystem services: Methodological issues and challenges. In *Summer School on Recent Advances in Marine Biodiversity Conservation and Management* (pp. 164–173). Central Marine Fisheries Research Institute.
- Salous, A. El, Diwakar, A., Gudgila, R. D., Pradhan, D., Patil, M., & Roy, S. (2025). The Role Of Aquaculture In Global Nutrition And Economic Development : A Long Research Article On Challenges, Opportunities , And Future Directions. *International Journal of Environmental Sciences*, 11(24), 4729–4735. <https://theaspd.com/index.php>

- Samual, & Adjie, S. (2008). ZONASI, KARAKTERISTIK FISIKA-KIMIA AIR DAN JENIS-JENIS IKAN YANG TERTANGKAP (Zonation , Physico-chemical Characteristic of Water and Fish species of Musi River). *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan Dan Perikanan Indonesia*, 1 (April), 41–48.
- Sánchez-Hernández, J. (2020). Reciprocal Role of Salamanders in Aquatic Energy Flow Pathways. *Diversity*, 12(32), 1–16. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3390/d12010032>
- Santos, J. (2024). *The Role of Aquatic Ecosystems in Biodiversity Conservation*. 12(6), 19–20. <https://doi.org/10.35841/aaajmha-8.6.264>
- Sehnal, L., Brammer-robbins, E., Wormington, A. M., Blaha, L., Bisesi, J., Larkin, I., Martyniuk, C. J., Simonin, M., & Adamovsky, O. (2021). Microbiome Composition and Function in Aquatic Vertebrates : Small Organisms Making Big Impacts on Aquatic Animal Health. *Front.Microbiol*, 12(March), 1–21. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.567408>
- Shao, T. (2024). Aqua Complex Conservation and Strategies for Sustainable Management. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 15, 1–2. <https://doi.org/10.35248/2155-9546.24.15.853>
- Song, A., Liang, S., Li, H., & Yan, B. (2024). Effects of biodiversity on functional stability of freshwater wetlands : a systematic review. *Front.Microbiol*, 15(April), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1397683>
- Sujana, K. A., Saravanan, R., & Pandey, A. D. (2015). Distribution of Aquatic Macrophytes in Balasore District, Odisha. In M. Rawat, S. Dookia, & C. Sivaperuman (Eds.), *Aquatic Ecosystem: Biodiversity, Ecology and Conservation* (pp. 1–12). Springer. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2178-4_1
- Suparyana, Fauzi, A., Kusumastanto, T., Yulianto, G., & Yusuf, M. (2022). Nilai Ekonomi Kawasan Konservasi Perairan Taman Nasional Ujung Kulon (TNUK) Economic Value of Water Conservation Area in Ujung Kulon National Park. *Jurnal Akuatiklestari*, 5(2), 58–65. <https://doi.org/https://doi.org/10.16583/akuatiklestari.v5i2.4453>

- Tickner, D., Opperman, J. J., Abell, R., Acreman, M., Arthington, A. H., Bunn, S. E., Cooke, S. J., Dalton, J., Darwall, W., Edwards, G., Harrison, I. A. N., Hughes, K., Jones, T. I. M., Leclère, D., Lynch, A. J., Leonard, P., McClain, M. E., Muruven, D., Olden, J. D., ... Young, L. (2020). Bending the Curve of Global Freshwater Biodiversity Loss : An Emergency Recovery Plan. *Bioscience*, 70(4), 330–342. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa002>
- Tuia, D., Kellenberger, B., Beery, S., Costelloe, B. R., Zuffi, S., Risse, B., Mathis, A., Mathis, M. W., Langevelde, F. Van, Burghardt, T., Kays, R., Klinc, H., Wikelsk, M., Couzin, I. D., Horn, G. van, Crofoot, M. C., V., C., Stewart, & Berger-Wolf, T. (2022). Seeing biodiversity : perspectives in machine learning for wildlife conservation. *Nature Communications*, 13(792), 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41467-022-27980-y>
- UNEnvironment. (2018). A Framework for Freshwater Ecosystem Management. In *A Framework for Freshwater Ecosystem Management: Scientific Background for regional consultations on developing water quality guidelines for ecosystems* (pp. 1–359). UN Environment Programme. https://www.unepdhi.org/wp-content/uploads/sites/2/2020/09/Framework_Freshwater_Ecosystem_Mgt_vol4.pdf
- Vari, A., Podschun, S. A., Eros, T., Hein, T., Pataki, B., Iojo, I.-C., Adamescu, C. M., Gerhardt, A., Gruber, T., Dedic, A., Ciric, M., Gavrilovic, B., & Baldi, A. (2022). Freshwater systems and ecosystem services : Challenges and chances for cross-fertilization of disciplines. *Springer*, 51, 135–151. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01556-4>
- Vaughn, C. C., & Hoellein, T. J. (2018). Bivalve Impacts in Freshwater and Marine Ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 49, 183–208. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062703>
- Wang, B., Ma, Y., Wang, Y., Lazhu, Wang, L., Ma, W., & Su, Bb. (2023). Analysis of Lake Stratification and Mixing and Its Influencing Factors over High Elevation Large and Small Lakes on the Tibetan Plateau. *Water*, 15(11). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w15112094>

- Wang, J., Soininen, J., & Heino, J. (2021). Ecological indicators for aquatic biodiversity, ecosystem functions, human activities and climate change. *Ecological Indicators*, 132. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108250>
- Wang, L. (2024). Advances in Monitoring and Managing Aquatic Ecosystem Health : Integrating Technology and Policy. *International Journal of Aquaculture*, 14(2), 101–111. <https://doi.org/10.5376/ija.2024.14.0012>
- Wang, Y., Liu, J., Liu, W., Feng, Q., Li, B., Lu, H., & Wang, S. (2021). Spatial variation in macrobenthic assemblages and their relationship with environmental factors in the upstream and midstream regions of the Heihe River Basin , China. *Environ Monit Assess*, 193(53), 1–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10661-020-08822-0>
- Ward, D., Melbourne, J., Greta, T., Karen, T. P., Madeline, E., McCormack, P. C., Novaglio, C., Trebilco, R., Bax, N., Brasier, M. J., Cavan, E. L., Edgar, G., Hunt, H. L., Jansen, J., Jones, R., Anne, M., Makomere, R., Mull, C., Semmens, J. M., ... Layton, C. (2022). Safeguarding marine life : conservation of biodiversity and ecosystems. In *Reviews in Fish Biology and Fisheries* (Vol. 32, Issue 1). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s11160-022-09700-3>
- Wati, E. (2025). Indonesia ' s Role in Protecting High Seas Biodiversity : Challenges and Opportunities in Light of the Biodiversity Beyond National Jurisdiction Treaty Erna Wati * Faculty of Law Universitas Surakarta , Jawa Tengah , Indonesia , erna.wati288@gmail.com , O. *Jurnal Hukum IUS QUIA IUSTUM*, 32(1), 239–262. <https://doi.org/https://doi.org/10.20885/iustum.vol32.iss1.art10>
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems* (Third Edit). Academic Press, An Imprint of Elsevier.
- Wickramasingha, B., West, J., Kushan, B., Bellanthudawa, A., Graziano, M. P., & Surasinghe, T. D. (2026). The Multifaceted Importance of Amphibians : Ecological , Biomedical , and Socio-Economic Perspectives. *Biology*, 15(98), 1–33. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/biology15010098>

- Wilson, H. L., Ayala, A. I., Jones, I. D., Rolston, A., Pierson, D., Eyto, E. de, Hans-Peter Grossart, M.-E. P., Woolway, R. I., & Jennings, E. (2020). Variability in epilimnion depth estimations in lakes. *European Geosciences Union*, 24(11), 5559–5577. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/hess-24-5559-2020>
- Wilson, P. (2022). An overview on marine habitat. *Global Science Research Journals*, 9(1), 574. <https://doi.org/10.15651/2408-5464.22.9.079>. and
- Wohl, E. (2015). Rivers in the Critical Zone. *Developments in Earth Surface Processes*, 19, 267–293. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63369-9.00009-4>





GLOSARIUM

- Abrasi : Proses pengikisan garis pantai yang disebabkan oleh gelombang laut, pasang surut, dan perubahan iklim
- Abiotik : Unsur-unsur tak hidup yang mempengaruhi kehidupan di dalam suatu ekosistem
- Akuakultur : Kegiatan budi daya organisme air dalam lingkungan terkontrol untuk menghasilkan produk perikanan yang bernilai ekonomi
- Antropogenik : Kegiatan yang terkait dengan pengaruh manusia terhadap lingkungan
- Atenuasi : Proses berkurangnya intensitas atau kekuatan cahaya ketika cahaya tersebut melewati suatu medium seperti air dan udara
- Biota : Seluruh makhluk hidup yang mendiami lautan, mulai dari mikroorganisme hingga mamalia besar
- Biodiversitas : Keanekaragaman hayati
- Biofilm : Kumpulan sel mikroorganisme, khususnya bakteri, yang melekat di suatu permukaan dan diselimuti oleh pelekat karbohidrat yang dikeluarkan oleh bakteri

Biomassa	: Bahan organik yang berasal dari organisme di Bumi, seperti hewan dan tanaman
Biosfer	: Lapisan permukaan Bumi yang mencakup atmosfer, litosfer, dan hidrosfer untuk tempat tinggal makhluk hidup.
Biosenosis	: Kelompok organisme hidup yang tertarik pada faktor lingkungan
Biotop	: Wilayah dengan kondisi lingkungan yang seragam, yang memberi sebuah tempat hidup untuk sebuah himpunan spesifik tumbuhan dan hewan
Biotik	: Unsur-unsur hidup yang mempengaruhi kehidupan di dalam suatu ekosistem
Chemosynthesis:	Proses metabolisme yang mentransfer karbon ke biosfer menggunakan senyawa tereduksi, dan memainkan peran penting dalam produksi primer di dalam ekosistem laut
Denudasi	: Serangkaian proses panjang yang mengakibatkan pengikisan di permukaan Bumi yang berujung pada berkurangnya ketinggian dan relief bentang alam dan juga lanskap bumi
Depleksi	: Berkurangnya harga perolehan (<i>cost</i>) atau nilai sumber-sumber alam
Ekosistem	: Sistem ekologi yang terbentuk dari hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungan sekitarnya
Endemisme	: Fenomena biologis di mana suatu spesies hanya ditemukan secara alami pada wilayah geografis tertentu (tidak dijumpai secara alami di tempat lain) dan dipengaruhi oleh berbagai faktor yang kompleks
Eutrofikasi	: Proses masuknya nutrisi berlebih (terutama nitrogen dan fosfor) ke dalam perairan
Erosi	: Proses pengikisan lapisan dan bagian tanah yang disebabkan oleh pergerakan air

Fauna	: Segala jenis/spesies hewan yang hidup di suatu habitat/daerah/strata geologi tertentu dan/atau ekosistem tertentu (misalnya perairan)
Flora	: Segala jenis/spesies tumbuhan yang hidup di suatu habitat/daerah/strata geologi tertentu dan/atau ekosistem tertentu (misalnya perairan)
Fotosintesis	: Proses biokimia pembentukan karbohidrat dari zat anorganik yang dilakukan oleh tumbuhan, terutama yang mengandung zat hijau daun yaitu klorofil
Herbivora	: Golongan hewan pemakan tumbuhan
Hipoksia	: Penurunan kadar oksigen di dalam jaringan tubuh
Hipersalin	: Kondisi suatu lingkungan yang memiliki konsentrasi garam (salinitas) yang sangat tinggi, jauh lebih tinggi daripada salinitas air laut biasa
Invasif	: Spesies asing (baik tumbuhan ataupun hewan) yang menunjukkan kecenderungan untuk menyebar di luar kendali
Karnivora	: Golongan hewan pemakan hewan
Kemoautotrof	: Jenis produsen yang hidup di dekat lubang hidrotermal dan menggunakan bahan kimia anorganik seperti sulfur untuk membuat glukosa
Konservasi	: Upaya mempertahankan keadaan ekosistem yang menguntungkan dan biasanya mencakup beberapa jenis tindakan
Konvensi	: Kesepakatan atau perjanjian
Kontinum	: Rangkaian atau serangkaian unsur, keadaan, atau peristiwa yang berkesinambungan tanpa terputus atau tanpa batas yang jelas
Lentik	: Kondisi air yang diam atau air yang tenang (seperti danau, kolam, rawa, atau lahan gambut),
Lotik	: Kondisi air yang mengalir (seperti sungai, mata air, dan anak sungai)

- Oklusi : Kondisi ketika penetrasi cahaya, sirkulasi air, atau pertukaran zat di dalam danau terhambat atau tertutup oleh material tertentu, baik alami maupun akibat aktivitas manusia
- Osmoregulasi : Mekanisme pengaturan keseimbangan jumlah air dan zat terlarut dalam tubuh hewan
- Restorasi : Upaya penciptaan kembali kondisi ekosistem secara aktif
- Salinitas : Kadar/tingkat kandungan garam air laut, danau, atau sungai yang dihitung dalam perseribu (‰)
- Urbanisasi : Pergeseran penduduk dari daerah pedesaan ke perkotaan



INDEKS

A

Abiotik, ix
Abrasi, ix
Akuakultur, ix, 103
Akuatik, ii, iii, iv, vii, 4, 15, 17, 86,
88, 89, 94, 96, 97, 128
Antropogenik, ix
Atenuasi, ix

B

Biodiversitas, ix
Biofilm, ix, 66
Biomassa, ix, 51, 99
Biosenosis, ix
Biosfer, ix
Biota, ix, 2, 26, 48

Biotik, ix, 24

Biotop, ix

C

Chemosynthesis, ix

D

Denudasi, ix

Deplesi, ix

E

Ekosistem, ii, iii, iv, vi, vii, viii, ix,
xiii, xiv, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10,
11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 21,
26, 30, 37, 40, 45, 48, 51, 52,
75, 79, 81, 83, 86, 88, 89, 94,
96, 97, 98, 99, 100, 101, 102,

- 104, 106, 107, 109, 113, 115,
117, 121, 123, 128
- Endemisme, ix
- Erosi, ix
- Eutrofikasi, ix
- F**
- Fauna, ix, 9, 10, 25, 110
- Flora, x, 9, 110
- Fotosintesis, x, 9, 23
- H**
- Hipersalin, x
- Hipoksia, x
- I**
- Invasif, x
- K**
- Karnivora, x, 11, 17
- Kemoautotrof, x
- Konservasi, ii, iv, vii, x, xi, 25, 81,
82, 86, 87, 88, 89, 93, 94, 95,
96, 104, 105, 108, 123, 128
- Kontinum, x
- Konvensi, iv, x, 92, 109
- L**
- Lentik, x
- Lotik, x
- O**
- Oklusi, x
- Osmoregulasi, x, 55
- R**
- Restorasi, x, 87
- S**
- Salinitas, x, 8, 9, 71
- U**
- Urbanisasi, x, 25, 76



BIOGRAFI PENULIS

Prof. Dr. Ir. H. Abdunnur, M.Si., IPU., ASEAN Eng., lahir di Bulungan pada 8 Maret 1967. Penulis menjabat sebagai Rektor Universitas Mulawarman periode 2022 sampai 2026. Penulis mengemban jabatan akademik Guru Besar pada bidang sumber daya perairan. Penulis mengabdikan sebagai dosen pada Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Mulawarman.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sarjana pada bidang Perikanan di Universitas Mulawarman pada tahun 1991. Penulis menyelesaikan pendidikan Magister pada bidang Ilmu Kelautan di Institut Pertanian Bogor pada tahun 1997. Penulis menyelesaikan pendidikan Doktor pada bidang Sumberdaya Perairan atau Aquatic Bioresources di Nihon University, Jepang, pada tahun 2010. Penulis memperoleh kualifikasi Profesi Insinyur Utama melalui Program Profesi Insinyur Indonesia di Institut Pertanian Bogor pada tahun 2021.

Penulis memiliki pengalaman kepemimpinan akademik yang panjang di Universitas Mulawarman. Penulis pernah menjabat sebagai Sekretaris Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Ketua Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Ketua Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Wakil Dekan II Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,

dan Wakil Rektor II Universitas Mulawarman. Pengalaman tersebut memperkuat kapasitas penulis dalam pengembangan akademik, tata kelola kelembagaan, pengelolaan sumber daya manusia, dan kepemimpinan pendidikan tinggi.

Bidang keilmuan penulis mencakup sumber daya perairan, ekologi perairan, ekosistem pesisir, mangrove, delta, kualitas air, perikanan, kelautan, dan pengelolaan sumber daya alam berkelanjutan. Penulis menaruh perhatian ilmiah pada ekosistem mangrove Delta Mahakam, struktur komunitas plankton dan makrozoobentos, kualitas perairan pesisir, produksi pangan akuatik, pengelolaan sumber daya hayati laut, serta hubungan antara ekologi, ekonomi, dan pembangunan wilayah pesisir.

Penulis telah menghasilkan berbagai publikasi ilmiah pada tingkat nasional dan internasional. Karya ilmiah penulis membahas ekosistem Delta Mahakam, produksi pangan akuatik di wilayah pesisir, struktur komunitas mangrove, kualitas air, logam berat, bioresources laut, dan pengelolaan wilayah pesisir. Konsistensi publikasi tersebut menunjukkan kontribusi penulis dalam pengembangan ilmu perikanan, ilmu kelautan, dan sumber daya perairan yang bertumpu pada kekhasan ekologis Kalimantan Timur dan kebutuhan pembangunan berkelanjutan.

Buku Ekosistem Akuatik: Keanekaragaman Hayati, Konservasi, Dampak Manusia, dan Kepentingan Global merupakan buku ketiga penulis. Penulis sebelumnya menerbitkan buku Manajemen Pengelolaan Ekosistem Mangrove: Peningkatan Produktivitas Ekosistem Mangrove Delta Mahakam pada tahun 2020 dan buku Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Laut Kalimantan Timur pada tahun 2021. Dua buku tersebut memperlihatkan perhatian akademik penulis terhadap pengelolaan ekosistem pesisir, mangrove, perikanan, dan kelautan secara berkelanjutan.

Buku ketiga memperluas cakupan kajian penulis dari ekosistem mangrove dan wilayah pesisir menuju ekosistem akuatik secara lebih menyeluruh. Penulis membahas ekosistem air tawar, payau, dan laut sebagai satu kesatuan sistem kehidupan yang berperan penting dalam menjaga keanekaragaman hayati, menyediakan jasa ekosistem, menopang ketahanan pangan, mendukung kehidupan sosial ekonomi masyarakat, dan menjaga keseimbangan lingkungan global.

Penulis menyusun buku Ekosistem Akuatik: Keanekaragaman Hayati, Konservasi, Dampak Manusia, dan Kepentingan Global, sebagai bentuk kontribusi akademik untuk memperkuat pemahaman ilmiah tentang ekosistem akuatik dan keberlanjutan bumi. Penulis berharap buku ini menjadi referensi ilmiah bagi mahasiswa, dosen, peneliti, pengambil kebijakan, praktisi lingkungan, pengelola sumber daya perairan, dan masyarakat umum yang memiliki perhatian terhadap konservasi serta pengelolaan ekosistem akuatik secara berkelanjutan.



EKOSISTEM AKUATIK

**Keanekaragaman Hayati, Konservasi,
Dampak Manusia, dan Kepentingan Global**

Buku *"Ekosistem Akuatik: (Keanekaragaman Hayati, Konservasi, Dampak Manusia, dan Kepentingan Global)"* menyajikan kajian ilmiah yang komprehensif mengenai berbagai sistem perairan bumi, mulai dari ekosistem air tawar hingga ekosistem laut. Buku tersebut mengulas peran strategis ekosistem akuatik sebagai fondasi kehidupan global melalui kontribusinya dalam menyediakan jasa ekosistem, seperti penyedia sumber pangan, penyedia air, pengatur iklim, dan penopang keseimbangan ekologis serta ekonomi masyarakat. Pembahasan disusun secara sistematis untuk memberikan pemahaman menyeluruh mengenai pentingnya ekosistem akuatik dalam mendukung keberlanjutan kehidupan manusia dan lingkungan.

Buku yang telah disusun melalui pendekatan multidisipliner membahas struktur dan fungsi ekosistem akuatik dengan menitikberatkan pada interaksi antara komponen biotik dan abiotik, dinamika energi, rantai makanan, produktivitas primer, serta kemampuan adaptasi organisme akuatik terhadap perubahan lingkungan, selain itu buku ini juga menguraikan keanekaragaman hayati perairan yang mencakup plankton, bentos, ikan, lamun, terumbu karang, mangrove, dan berbagai organisme lain yang memiliki nilai ekologis, sosial, dan ekonomi yang penting bagi keberlanjutan sumber daya alam dan kesejahteraan masyarakat.

Pembahasan dalam buku menyoroti berbagai ancaman terhadap ekosistem akuatik akibat aktivitas manusia, seperti pencemaran air, eksploitasi sumber daya berlebihan, perubahan iklim, eutrofikasi, kerusakan habitat, urbanisasi pesisir, hingga penurunan kualitas lingkungan perairan secara global, sehingga pembahasan tersebut memberikan perspektif kritis mengenai dampak aktivitas antropogenik terhadap stabilitas ekosistem dan urgensi upaya perlindungan ekosistem perairan secara berkelanjutan.

Buku ini menawarkan perspektif konsep konservasi dan pengelolaan sumber daya perairan berbasis keberlanjutan yang didukung oleh kerjasama dan perjanjian internasional sebagai solusi dalam menjaga keberlangsungan ekosistem akuatik di tengah tekanan pembangunan dan perubahan lingkungan global. Beragam strategi konservasi dan pengelolaan sumber daya berbasis ekosistem, pemanfaatan teknologi, penguatan kebijakan lingkungan serta partisipasi masyarakat dipaparkan secara ilmiah dan aplikatif guna mendukung pelestarian ekosistem akuatik bagi generasi mendatang.

Penyusunan buku dengan bahasa ilmiah yang komunikatif, mudah difahami dan didukung pendekatan multidisipliner, sangat relevan bagi mahasiswa, dosen, peneliti, praktisi lingkungan, pengelola sumber daya perairan, serta masyarakat umum yang memiliki perhatian terhadap isu lingkungan dan keberlanjutan bumi. Buku ini diharapkan menjadi referensi penting dalam memahami hubungan erat antara manusia dan ekosistem akuatik, sekaligus mendorong tumbuhnya kesadaran kolektif untuk menjaga kelestarian sumber daya air sebagai bagian integral dari keberlanjutan kehidupan di bumi.



PT RAJAGRAFINDO PERSADA

Jl. Raya Leuwisangung No. 112
Kel. Leuwisangung, Kec. Tapos, Kota Depok 16456
Telp 021-84311162
Email: rajapers@rajagrafindo.co.id
www.rajagrafindo.co.id

RAJAWALI PERS
DIVISI BUKU PERGURUAN TINGGI

