JIP
Jurnal Ilmiah PLATAX
Universitas Sam Ratulangi
Terakreditasi Ristekdikti No: 28/E/KPT/2019
ISSN : 2302-3589 (Online)
E_mail : jip_platax@unsrat.ac.id

Evolution of Marine Biodiversity Management: A Conceptual Synthesis from the Ocean Health Index to Adaptive Marine Management

(Evolusi Pengelolaan Biodiversitas Laut: Sintesis Konseptual dari Ocean Health Index Menuju Adaptive Marine Management)

Yeddy T. Th. Ombuh[1,2*], Semuel Palembangan[1,2], Deiske A. Sumilat[3], Grevo S. Gerung[3]

[1]*Doctoral Program in Marine Science, Postgraduate Program, Sam Ratulangi University, Manado*
[2]*North Sulawesi Maritime Polytechnic*
[3]*Faculty of Fisheries and Marine Sciences, Sam Ratulangi University, Manado*

**Corresponding author:* yto168gf@gmail.com

Manuscript received: 19 April. 2026. Revision accepted: 17 June 2026

Abstract. Marine biodiversity management has progressively moved from sectoral and resource-oriented approaches toward integrated, adaptive, and evidence-based governance. This review examines the conceptual evolution of marine biodiversity management from the Ocean Health Index (OHI) to Adaptive Marine Management through an integrative literature review. The analysis synthesizes approximately 70 scientific and institutional references, with about 60% of the literature published between 2020 and 2026. The review shows that OHI contributed a multidimensional assessment framework by linking ecological status with social, economic, and cultural benefits of the ocean. However, assessment-based approaches alone are insufficient for guiding management in complex and uncertain marine social-ecological systems. EAFM and EBFM subsequently expanded the management perspective by integrating fisheries, habitats, communities, technology, economics, and institutions. Ecosystem modelling and Decision Support Systems further strengthened scenario analysis and evidence-based decisions, although uncertainty remains a central limitation. Adaptive governance, dynamic ocean management, marine spatial planning, and marine protected areas then provide institutional and spatial mechanisms for learning, adjustment, and implementation. This review argues that Adaptive Marine Management is not a replacement for earlier approaches, but a synthesis that integrates assessment, ecosystem-based management, modelling, decision support, spatial governance, stakeholder participation, and adaptive learning. The proposed framework is relevant for marine biodiversity management in regions facing climate change, biodiversity loss, habitat degradation, fisheries pressure, and competing marine uses.

Keywords: marine biodiversity; Ocean Health Index; ecosystem-based fisheries management; ecosystem modelling; decision support system; adaptive governance; adaptive marine management.

Abstrak. Pengelolaan biodiversitas laut telah berkembang dari pendekatan sektoral dan berorientasi sumber daya menuju tata kelola yang lebih terintegrasi, adaptif, dan berbasis bukti ilmiah. Artikel review ini mengkaji evolusi konseptual pengelolaan biodiversitas laut dari Ocean Health Index (OHI) menuju Adaptive Marine Management melalui pendekatan integrative literature review. Analisis dilakukan dengan menyintesis sekitar 70 referensi ilmiah dan institusional, dengan sekitar 60% literatur berasal dari publikasi tahun 2020-2026. Hasil kajian menunjukkan bahwa OHI berkontribusi sebagai kerangka assessment multidimensi yang menghubungkan kondisi ekologis dengan manfaat sosial, ekonomi, dan budaya dari laut. Namun, pendekatan berbasis assessment belum cukup untuk mengarahkan pengelolaan dalam sistem sosial-ekologis laut yang kompleks dan tidak pasti. EAFM dan EBFM kemudian memperluas perspektif pengelolaan dengan mengintegrasikan perikanan, habitat, masyarakat, teknologi, ekonomi, dan kelembagaan. Ecosystem modelling dan Decision Support System memperkuat analisis skenario serta pengambilan keputusan berbasis bukti, meskipun ketidakpastian tetap menjadi batasan penting. Adaptive governance, dynamic ocean management, marine spatial planning, dan marine protected areas selanjutnya menyediakan mekanisme kelembagaan dan spasial untuk pembelajaran, penyesuaian, dan implementasi kebijakan. Artikel ini menegaskan bahwa Adaptive Marine Management bukan pengganti pendekatan sebelumnya, melainkan sintesis yang mengintegrasikan assessment, ecosystem-based management, modelling, decision support, spatial governance, partisipasi stakeholder, dan adaptive learning. Kerangka ini relevan bagi pengelolaan biodiversitas laut pada wilayah yang menghadapi perubahan iklim, kehilangan biodiversitas, degradasi habitat, tekanan perikanan, dan kompetisi pemanfaatan ruang laut.

Kata kunci: biodiversitas laut; Ocean Health Index; pengelolaan perikanan berbasis ekosistem; pemodelan ekosistem; sistem pendukung keputusan; tata kelola adaptif; pengelolaan laut adaptif.

PENDAHULUAN

Biodiversitas laut merupakan fondasi bagi keberlanjutan fungsi ekosistem dan kesejahteraan manusia. Keanekaragaman genetik, spesies, komunitas, dan habitat menentukan stabilitas jejaring makanan, produktivitas perikanan, siklus nutrien, perlindungan pesisir, serta penyimpanan karbon. Dalam kerangka tersebut, biodiversitas laut tidak dapat dilihat hanya sebagai daftar spesies, tetapi sebagai sistem interaksi ekologis yang menopang kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat pesisir. Kehilangan biodiversitas terbukti dapat menurunkan

kemampuan ekosistem laut dalam menyediakan jasa lingkungan yang penting bagi manusia (Worm et al., 2006).

Tekanan terhadap biodiversitas laut semakin meningkat akibat eksploitasi berlebihan, pencemaran, degradasi habitat, perubahan tata ruang pesisir, dan perluasan aktivitas ekonomi kelautan. IPBES (2019) menegaskan bahwa perubahan penggunaan ruang, eksploitasi langsung, pencemaran, invasi spesies asing, dan perubahan iklim merupakan pendorong utama penurunan biodiversitas. Pada saat yang sama, ekspansi kegiatan manusia ke laut menunjukkan adanya blue acceleration yang memperbesar kompetisi pemanfaatan ruang dan sumber daya (Jouffray et al., 2020).

Perubahan iklim memperbesar kompleksitas pengelolaan karena laut mengalami pemanasan, pengasaman, deoksigenasi, dan perubahan kejadian ekstrem. Hoegh-Guldberg dan Bruno (2010) menjelaskan bahwa perubahan iklim memengaruhi struktur dan fungsi ekosistem laut pada berbagai skala. IPCC (2022) kemudian menegaskan bahwa dampak perubahan iklim terhadap ekosistem pesisir dan laut telah meningkatkan risiko bagi biodiversitas, jasa ekosistem, dan masyarakat yang bergantung pada laut.

Perubahan kondisi oseanografi juga mengubah distribusi spesies dan produktivitas sumber daya. Pinsky et al. (2013) menunjukkan bahwa banyak taksa laut mengikuti perubahan iklim lokal melalui pergeseran distribusi. Free et al. (2019) menambahkan bahwa pemanasan historis telah memengaruhi produktivitas perikanan laut. Marine heatwaves memperkuat dampak tersebut karena dapat memperbesar risiko terhadap ikan dan perikanan pada wilayah yang sebelumnya relatif stabil (Cheung et al., 2021).

Pada beberapa wilayah, perubahan iklim dapat memicu redistribusi biodiversitas yang mengubah komposisi komunitas, fungsi ekosistem, dan peluang pemanfaatan sumber daya. Chust et al. (2022) menunjukkan bahwa perubahan rezim iklim berhubungan dengan redistribusi biodiversitas di wilayah laut. Karena itu, kebijakan pengelolaan yang hanya mengandalkan kondisi historis semakin tidak memadai untuk menghadapi dinamika laut masa depan.

Kebutuhan untuk memulihkan dan menjaga kehidupan laut telah menjadi agenda global. Duarte et al. (2020) menunjukkan bahwa pemulihan kehidupan laut masih memungkinkan apabila tekanan dapat dikurangi dan intervensi konservasi dilakukan secara efektif. Dalam perspektif tata kelola, United Nations Decade of Ocean Science mendorong integrasi ilmu pengetahuan dan kebijakan agar pengelolaan laut lebih berbasis bukti (Claudet et al., 2020). Implementasi Ocean Decade juga menempatkan kolaborasi lintas sektor sebagai dasar perubahan tata kelola laut (UNESCO-IOC, 2021).

Agenda global seperti SDG 14, Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework, dan BBNJ Agreement memperluas ruang lingkup pengelolaan biodiversitas laut. SDG 14 menekankan konservasi dan pemanfaatan berkelanjutan sumber daya laut (United Nations, 2025). Target 3 dalam Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework menegaskan pentingnya konservasi 30% wilayah darat, perairan darat, pesisir, dan laut secara efektif dan adil pada tahun 2030 (CBD, 2022).

Di luar yurisdiksi nasional, BBNJ Agreement memperkuat perhatian pada konservasi dan pemanfaatan berkelanjutan biodiversitas laut. Kesepakatan ini penting karena banyak proses ekologis, pergerakan spesies, dan tekanan antropogenik melampaui batas administrasi negara (United Nations, 2023). United Nations (2021) juga menunjukkan bahwa kondisi laut global perlu dibaca melalui kerangka yang menghubungkan ilmu pengetahuan, pemantauan, dan tata kelola lintas skala.

Pada tingkat ekonomi, laut semakin diposisikan sebagai fondasi bagi blue economy. Namun, pertumbuhan ekonomi berbasis laut tidak selalu sejalan dengan konservasi apabila tidak dikendalikan oleh tata kelola yang kuat. Sumaila et al. (2021) menekankan perlunya pembiayaan ekonomi laut yang berkelanjutan. Ocean Panel (2024) juga menempatkan kesehatan ekosistem sebagai prasyarat bagi pembangunan ekonomi laut yang tidak merusak modal alam.

Di sisi lain, pangan akuatik semakin diakui sebagai komponen penting dalam ketahanan pangan dan nutrisi. Golden et al. (2021) menunjukkan bahwa aquatic foods memiliki kontribusi strategis bagi gizi masyarakat. Namun, Tigchelaar et al. (2021) memperingatkan bahwa risiko iklim majemuk dapat mengancam manfaat sistem pangan akuatik. Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan biodiversitas laut harus menghubungkan konservasi, perikanan, pangan, dan adaptasi iklim.

Dalam konteks tersebut, Ocean Health Index (OHI) menjadi salah satu tonggak penting karena menawarkan cara menilai kesehatan laut secara multidimensi. Halpern et al. (2012) memperkenalkan OHI sebagai indeks yang menghubungkan kondisi ekologis dengan manfaat yang diterima manusia. OHI kemudian digunakan untuk menilai perubahan kesehatan laut dan mengidentifikasi tantangan perbaikan pada berbagai skala (Halpern et al., 2017).

Meskipun OHI penting sebagai instrumen assessment, hasil penilaian tidak secara otomatis berubah menjadi tindakan pengelolaan. Keterbatasan ini mendorong berkembangnya Ecosystem Approach to Fisheries Management (EAFM) dan Ecosystem-Based Fisheries Management (EBFM). FAO (2003) memosisikan pendekatan ekosistem sebagai cara mengelola perikanan dengan mempertimbangkan interaksi sumber daya, habitat, manusia, dan kelembagaan. Pikitch et al. (2004) menegaskan bahwa pengelolaan berbasis ekosistem diperlukan karena pendekatan spesies tunggal tidak cukup untuk menjaga fungsi ekosistem.

Kompleksitas EAFM dan EBFM kemudian mendorong penggunaan ecosystem modelling dan Decision Support System (DSS). Model ekosistem membantu mengevaluasi skenario kebijakan dan hubungan antar komponen sistem. Rodriguez-Perez et al. (2023) menunjukkan bahwa model ekosistem semakin penting untuk mendukung EBFM, sedangkan Botelho et al. (2025) mengingatkan bahwa model tetap memiliki keterbatasan prediktif. Dengan demikian, model harus diposisikan sebagai alat pembelajaran, bukan sebagai instrumen ramalan yang absolut.

Keterbatasan assessment, model, dan DSS memperlihatkan pentingnya adaptive governance. Dalam pendekatan ini, kebijakan dipahami sebagai proses yang dapat dipantau, dievaluasi, dan disesuaikan. Folke et al. (2005) menekankan bahwa tata kelola adaptif bertumpu pada pembelajaran, fleksibilitas kelembagaan, dan jejaring aktor. Armitage et al. (2009) menambahkan bahwa adaptive co-management menjadi penting ketika pengelolaan menghadapi kompleksitas sosial-ekologis.

Meskipun berbagai kajian telah membahas Ocean Health Index (OHI), Ecosystem Approach to Fisheries Management (EAFM), Ecosystem-Based Fisheries Management (EBFM), ecosystem modelling, Decision Support System (DSS), Marine Spatial Planning (MSP), maupun adaptive governance secara terpisah, masih terbatas kajian yang mengintegrasikan seluruh pendekatan tersebut dalam satu kerangka evolusi konseptual pengelolaan biodiversitas laut. Sebagian besar penelitian cenderung berfokus pada pengembangan instrumen assessment, peningkatan efektivitas pengelolaan perikanan, pemodelan ekosistem, atau tata kelola adaptif secara sektoral. Akibatnya, hubungan evolusioner antar pendekatan tersebut belum banyak dijelaskan secara sistematis sebagai proses perkembangan menuju pengelolaan laut yang terintegrasi, adaptif, dan berbasis pembelajaran.

Artikel ini berangkat dari kesenjangan bahwa OHI, EAFM/EBFM, ecosystem modelling, DSS, Marine Protected Areas (MPA), Marine Spatial Planning (MSP), blue economy, dan adaptive governance sering dibahas secara terpisah dalam literatur. Padahal, pendekatan-pendekatan tersebut membentuk suatu jalur evolusi konseptual yang saling melengkapi dalam pengelolaan biodiversitas laut. Kebaruan artikel ini terletak pada penyusunan kerangka sintesis yang menjelaskan hubungan evolusioner antar pendekatan tersebut dan menempatkannya dalam satu kerangka Adaptive Marine Management yang mengintegrasikan assessment, ecosystem-based management, modelling, decision support, spatial governance, stakeholder participation, dan adaptive learning.

METODE PENELITIAN

Pendekatan Review

Pendekatan integrative literature review dipilih karena fokus kajian adalah menyusun sintesis konseptual, bukan menghitung efek kuantitatif antar studi. Integrative review memungkinkan penggabungan artikel empiris, review article, buku akademik, pedoman teknis, dan laporan institusional dalam satu kerangka analisis (Whittemore & Knafl, 2005). Snyder (2019) menjelaskan bahwa literature review dapat digunakan sebagai metodologi penelitian apabila proses pencarian, seleksi, analisis, dan sintesis dilakukan secara eksplisit.

Analisis dilakukan melalui thematic synthesis. Pendekatan ini digunakan untuk mengidentifikasi tema utama, pola hubungan antar literatur, dan arah perkembangan konsep. Thomas dan Harden (2008) menjelaskan bahwa thematic synthesis dapat digunakan untuk membangun interpretasi konseptual dari berbagai sumber. Untuk menjaga transparansi proses seleksi, artikel ini juga mengacu pada prinsip PRISMA 2020 dalam pelaporan identifikasi, penyaringan, dan inklusi literatur (Page et al., 2021).

Selain itu, artikel ini memanfaatkan prinsip ecological synthesis. Halpern et al. (2020) menegaskan bahwa sintesis ekologi berperan penting dalam menghubungkan hasil penelitian yang tersebar menjadi pemahaman yang lebih operasional. Halpern et al. (2023) kemudian menekankan bahwa sintesis dalam ekologi dan ilmu lingkungan perlu diarahkan pada persoalan kompleks yang membutuhkan integrasi lintas disiplin dan lintas skala.

Sumber Data dan Strategi Penelusuran

Penelusuran literatur dilakukan melalui basis data ilmiah dan sumber institusional yang relevan dengan biodiversitas laut, pengelolaan perikanan, konservasi, pemodelan, dan tata kelola laut. Basis data ilmiah yang digunakan mencakup Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, Wiley Online Library, Taylor & Francis, Frontiers, PLOS, Nature, Science, dan Google Scholar. Dokumen institusional digunakan secara selektif dari FAO, UNESCO-IOC, CBD, IPBES, IPCC, IUCN, UNEP, Ocean Panel, dan United Nations.

Kata kunci yang digunakan meliputi marine biodiversity management, Ocean Health Index, ocean health assessment, ecosystem approach to fisheries management, ecosystem-based fisheries management, ecosystem modelling, decision support system, marine spatial planning, adaptive governance, adaptive management, dynamic ocean management, marine protected areas, blue economy, SDG 14, BBNJ Agreement, dan sustainable ocean governance. Kombinasi kata kunci dilakukan menggunakan operator Boolean untuk menyesuaikan keluasan dan kedalaman pencarian.

Proses Seleksi dan Analisis

Dokumen disaring melalui pembacaan judul, abstrak, kata kunci, dan relevansi awal. Literatur yang tidak berkaitan langsung dengan fokus evolusi pengelolaan biodiversitas laut

dikeluarkan dari analisis. Tahap berikutnya adalah pembacaan teks penuh untuk menilai kualitas sumber, kedalaman substansi, dan kontribusi konseptual terhadap artikel.

Tabel 1. Kriteria inklusi dan eksklusi literatur

Aspek	Kriteria inklusi	Kriteria eksklusi
Fokus substansi	Membahas biodiversitas laut, OHI, EAFM/EBFM, ecosystem modelling, DSS, MSP, MPA, adaptive governance, blue economy, SDG 14, atau tata kelola laut global.	Tidak berkaitan langsung dengan pengelolaan biodiversitas laut atau hanya membahas isu umum tanpa kontribusi konseptual.
Jenis sumber	Artikel jurnal, review article, buku akademik, pedoman teknis, laporan institusional, dan dokumen kebijakan resmi.	Berita populer, opini, blog, atau dokumen tanpa informasi ilmiah dan kelembagaan yang jelas.
Periode	Diutamakan tahun 2020-2026 untuk memperkuat keterbaruan; referensi lama digunakan apabila bersifat fondasional.	Literatur lama tanpa kontribusi teoritis, metodologis, atau empiris yang penting.
Kualitas	Sumber bereputasi, dapat diverifikasi, dan relevan langsung dengan kerangka review.	Sumber tanpa informasi bibliografis memadai atau tidak dapat diverifikasi.
Fungsi dalam review	Menjadi dasar teori, pembanding substansi, bukti empiris, atau penguat konteks kebijakan.	Tidak memberi kontribusi terhadap alur evolusi pengelolaan biodiversitas laut.

Literatur kemudian dikelompokkan ke dalam tema: biodiversitas laut dan tekanan global; ecological synthesis; Ocean Health Index; EAFM dan EBFM; ecosystem modelling; Decision Support System dan marine spatial planning; adaptive governance dan dynamic ocean management; serta marine protected areas, blue economy, dan tata kelola global. Setiap tema dianalisis untuk melihat kontribusi, batasan, dan hubungannya dengan tahap evolusi berikutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola Umum Evolusi Pengelolaan Biodiversitas Laut

Hasil sintesis menunjukkan bahwa pengelolaan biodiversitas laut berkembang melalui proses bertahap. Pada fase awal, perhatian ilmiah banyak diarahkan pada pemahaman kondisi ekosistem dan dampak tekanan manusia. Fase ini penting karena pengelolaan tidak dapat dibangun tanpa informasi dasar mengenai status ekosistem, sumber daya, dan jasa yang disediakan. Akan tetapi, informasi ekologis yang tersebar dalam berbagai disiplin membutuhkan sintesis agar dapat digunakan untuk pengambilan keputusan.

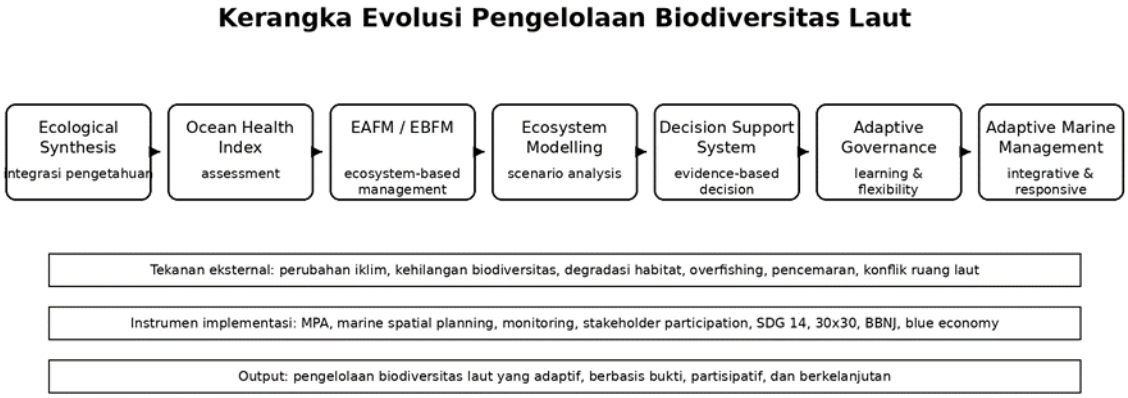
Fase berikutnya adalah assessment-based management. Pada fase ini, OHI menjadi instrumen penting karena mengubah penilaian kesehatan laut dari sekadar pengukuran biogeofisik menjadi penilaian multidimensi. OHI menghubungkan kesehatan ekosistem dengan manfaat sosial, ekonomi, dan budaya. Meskipun demikian, assessment tidak identik dengan management. Hasil penilaian perlu diterjemahkan menjadi tindakan kebijakan yang operasional.

Fase ketiga adalah ecosystem-based management. EAFM dan EBFM muncul untuk menjawab kebutuhan tersebut. Pendekatan ini menghubungkan sumber daya ikan, habitat, alat tangkap, komunitas, ekonomi, dan kelembagaan. Dengan demikian, keberlanjutan tidak hanya dilihat dari produksi perikanan, tetapi juga dari fungsi ekosistem dan kapasitas tata kelola.

Fase keempat adalah evidence-based decision support. Pada fase ini, ecosystem modelling dan DSS digunakan untuk membaca kompleksitas, menyusun skenario, dan membandingkan pilihan kebijakan. Model dapat membantu memperkirakan konsekuensi tindakan, tetapi tetap perlu dibaca bersama ketidakpastian. Karena itu, model dan DSS harus

berada dalam kerangka pembelajaran, bukan menjadi satu-satunya dasar keputusan.

Fase kelima adalah adaptive and learning-based governance. Pada fase ini, kebijakan tidak lagi dipahami sebagai keputusan tetap. Kebijakan harus dapat dipantau, dievaluasi, dan disesuaikan ketika kondisi ekosistem atau sosial berubah. Integrasi kelima fase tersebut membentuk Adaptive Marine Management sebagai kerangka pengelolaan yang lebih sesuai untuk laut yang dinamis.



Gambar 1. Kerangka evolusi pengelolaan biodiversitas laut dari Ocean Health Index menuju Adaptive Marine Management

Tabel 2. Fase evolusi pengelolaan biodiversitas laut

Fase	Pertanyaan kunci	Fungsi utama	Batasan yang mendorong fase berikutnya
Ecological synthesis	Bagaimana biodiversitas dan ekosistem laut dipahami sebagai sistem?	Mengintegrasikan pengetahuan ekologis dan tekanan global.	Belum cukup operasional untuk menentukan tindakan kebijakan.
Ocean Health Index	Bagaimana kesehatan laut dinilai secara multidimensi?	Menyediakan diagnosis kondisi dan manfaat laut.	Assessment belum otomatis menjadi strategi pengelolaan.
EAFM/EBFM	Bagaimana sumber daya dan habitat dikelola dalam sistem sosial-ekologis?	Menghubungkan perikanan, habitat, manusia, teknologi, ekonomi, dan kelembagaan.	Membutuhkan data, koordinasi, dan kapasitas kelembagaan.
Ecosystem modelling dan DSS	Bagaimana skenario kebijakan dievaluasi?	Mendukung analisis risiko, trade-off, dan keputusan berbasis bukti.	Model tetap memiliki ketidakpastian dan perlu dukungan tata kelola.
Adaptive governance	Bagaimana kebijakan menyesuaikan diri terhadap perubahan?	Menyediakan pembelajaran, evaluasi, partisipasi, dan fleksibilitas.	Membutuhkan komitmen kelembagaan dan monitoring jangka panjang.
Adaptive Marine Management	Bagaimana seluruh komponen diintegrasikan?	Menggabungkan assessment, management, modelling, DSS, MSP, MPA, dan governance.	Membutuhkan integrasi lintas sektor, data, dan aktor.

Ecological Synthesis dan Tekanan Global terhadap Biodiversitas Laut

Selain tekanan yang telah lama dikenal, isu baru dalam konservasi laut terus muncul. Herbert-Read et al. (2022) menunjukkan bahwa horizon scanning dapat membantu mengidentifikasi ancaman dan peluang yang belum sepenuhnya masuk ke dalam agenda kebijakan. Pendekatan semacam ini memperkuat kebutuhan pengelolaan adaptif karena sistem laut menghadapi perubahan ekologis dan sosial yang sering kali muncul lebih cepat daripada respons kelembagaan.

Pengelolaan biodiversitas laut perlu dimulai dari pemahaman bahwa ekosistem laut

bekerja sebagai sistem interaksi. Spesies, habitat, proses biogeokimia, dan aktivitas manusia saling memengaruhi. Karena itu, penurunan satu komponen dapat memicu perubahan pada komponen lain. Worm et al. (2006) menunjukkan bahwa kehilangan biodiversitas dapat melemahkan jasa ekosistem laut. IPBES (2019) memperluas argumen tersebut dengan menempatkan kehilangan biodiversitas sebagai risiko global yang berkaitan langsung dengan kesejahteraan manusia.

Krisis biodiversitas laut tidak berdiri sendiri. Tekanan ekologis terjadi bersamaan dengan tekanan ekonomi dan sosial. Jouffray et al. (2020) menggambarkan peningkatan ekspansi aktivitas manusia ke laut sebagai blue acceleration. Proses ini dapat memperbesar konflik antar pengguna ruang laut apabila tidak diimbangi dengan pengelolaan berbasis ekosistem dan perencanaan ruang yang kuat.

Perubahan iklim mempercepat dinamika tersebut. Pinsky et al. (2013) menunjukkan bahwa banyak organisme laut merespons perubahan iklim melalui pergeseran distribusi. Cheung et al. (2021) menunjukkan bahwa suhu ekstrem laut dapat memperkuat dampak perubahan iklim terhadap ikan dan perikanan. Dalam kondisi seperti ini, pengelolaan berbasis data historis perlu dilengkapi dengan mekanisme adaptif yang dapat membaca perubahan baru. Pemulihan biodiversitas laut tetap dimungkinkan apabila tekanan manusia dikurangi dan kebijakan konservasi dijalankan secara efektif. Duarte et al. (2020) menekankan bahwa rebuilding marine life membutuhkan tindakan terpadu, termasuk perlindungan habitat, pengelolaan perikanan, pengurangan pencemaran, dan restorasi. Karena itu, sintesis ekologi menjadi penting untuk menghubungkan bukti ilmiah dengan pilihan kebijakan yang dapat diterapkan.

Ocean Health Index sebagai Fondasi Assessment Multidimensi

OHI merupakan salah satu instrumen penting karena menyusun cara pandang baru mengenai kesehatan laut. Halpern et al. (2012) mendefinisikan kesehatan laut sebagai kemampuan sistem laut untuk menyediakan manfaat secara berkelanjutan. Konsep ini menjembatani perspektif ekologi dan kesejahteraan manusia, sehingga kesehatan laut tidak hanya diukur dari kondisi lingkungan, tetapi juga dari manfaat yang dapat dipertahankan.
Perkembangan OHI menunjukkan bahwa indeks komposit dapat membantu komunikasi kebijakan. Halpern et al. (2017) menggunakan OHI untuk membaca perubahan kesehatan laut dalam periode global tertentu. Kekuatan pendekatan ini terletak pada kemampuannya menyajikan informasi kompleks dalam bentuk yang lebih mudah dipahami oleh pengambil keputusan.

Pada skala regional, OHI perlu disesuaikan dengan konteks sosial-ekologis. Longo et al. (2017) menunjukkan bahwa penerapan OHI dapat membantu mengidentifikasi peluang dan tantangan peningkatan kesehatan ekosistem di wilayah tertentu. Di Indonesia, Rintaka et al. (2023) menekankan perlunya pengembangan dynamic OHI agar assessment tidak hanya memotret kondisi sesaat, tetapi juga menangkap perubahan temporal.

Keterbatasan OHI perlu disampaikan secara eksplisit. OHI sangat bergantung pada kualitas data, pemilihan indikator, pembobotan, dan skala analisis. Jika data tidak merata, skor dapat memberi kesan presisi yang lebih tinggi daripada realitas yang tersedia. Oleh karena itu, OHI sebaiknya digunakan sebagai instrumen diagnosis awal yang perlu dihubungkan dengan tindakan pengelolaan, bukan sebagai penentu tunggal kebijakan.

EAFM dan EBFM sebagai Jembatan antara Assessment dan Management

EAFM dan EBFM muncul karena pendekatan pengelolaan perikanan berbasis stok tunggal tidak cukup untuk menjaga keberlanjutan ekosistem. FAO (2003) menempatkan pendekatan ekosistem sebagai kerangka yang mempertimbangkan interaksi antara sumber daya

ikan, ekosistem, manusia, dan kelembagaan. Garcia et al. (2003) menambahkan bahwa pendekatan ini membutuhkan integrasi tujuan ekologis, sosial, dan ekonomi dalam satu sistem pengelolaan.

Pikitch et al. (2004) memperjelas bahwa ecosystem-based fishery management diperlukan karena kegiatan perikanan memengaruhi spesies non-target, habitat, dan struktur komunitas. Link (2010) menunjukkan bahwa EBFM selalu melibatkan trade-off, misalnya antara konservasi dan pemanfaatan, antara tujuan jangka pendek dan keberlanjutan jangka panjang, atau antara keuntungan ekonomi dan kapasitas ekosistem.

Dalam konteks Indonesia, EAFM memiliki posisi strategis karena perikanan nasional sangat beragam, tersebar, dan sering menghadapi keterbatasan data. Adrianto et al. (2014) menyusun kerangka indikator EAFM yang mencakup sumber daya ikan, habitat dan ekosistem, teknik penangkapan, sosial, ekonomi, dan kelembagaan. Hutubessy dan Mosse (2015) menunjukkan bahwa indikator dan nilai acuan penting agar penilaian keberlanjutan tidak hanya bersifat deskriptif.

Tantangan implementasi EAFM tidak hanya bersifat teknis. Bastardie et al. (2021) mengidentifikasi berbagai tantangan EBFM yang berkaitan dengan tekanan ekosistem, kebutuhan data, dan koordinasi kebijakan. Briguglio et al. (2025) menunjukkan bahwa persepsi publik dan stakeholder terhadap EBFM juga memengaruhi penerimaan kebijakan. Hal ini menegaskan bahwa pendekatan ekosistem harus dipahami sebagai proses sosial-ekologis, bukan sekadar kerangka ilmiah.

Ecosystem Modelling sebagai Alat Analisis Skenario

Ecosystem modelling berkembang untuk membantu pengelola membaca hubungan antar komponen sistem yang tidak mudah dijelaskan oleh indikator tunggal. Plaganyi (2007) menjelaskan bahwa model untuk pendekatan ekosistem dapat membantu memahami interaksi trofik, dampak penangkapan, dan respons ekosistem terhadap kebijakan. Dalam konteks ini, model berfungsi sebagai ruang simulasi yang memungkinkan kebijakan diuji sebelum diterapkan.

Model food-web menjadi salah satu pendekatan yang banyak digunakan. Steenbeek et al. (2021) menunjukkan bahwa Ecopath with Ecosim berkembang sebagai alat yang fleksibel untuk memodelkan jejaring makanan, mengevaluasi skenario, dan mendukung pengelolaan berbasis ekosistem. Model semacam ini berguna terutama ketika pengelola perlu memahami perubahan pada satu kelompok organisme dan konsekuensinya terhadap komponen lain.

Dalam hubungan dengan EBFM, Rodriguez-Perez et al. (2023) menunjukkan bahwa model ekosistem dapat menjembatani kebutuhan ilmiah dan kebutuhan kebijakan. Model dapat digunakan untuk menilai trade-off, mengevaluasi risiko, dan membandingkan alternatif pengelolaan. Namun, nilai model tidak hanya ditentukan oleh kompleksitasnya, tetapi oleh relevansi terhadap pertanyaan pengelolaan.

Penggunaan model perlu proporsional. Holden et al. (2024) menekankan bahwa kompleksitas model harus dipertimbangkan melalui analisis biaya-manfaat. Botelho et al. (2025) mengingatkan bahwa model yang telah dikalibrasi tetap tidak selalu mampu memprediksi konsekuensi keputusan konservasi. Karena itu, model harus digunakan sebagai alat pembelajaran dan diskusi skenario, bukan sebagai jaminan prediksi.

Decision Support System dan Marine Spatial Planning

DSS berkembang sebagai penghubung antara data, model, dan pengambilan keputusan. Dalam perikanan dan akuakultur, DSS membantu menyusun pilihan kebijakan, membandingkan skenario, dan mengelola informasi yang kompleks (Mathisen et al., 2016). Namun, DSS tidak boleh dipahami sebagai alat teknokratik semata. Efektivitasnya bergantung

pada keterbukaan data, transparansi asumsi, dan kemampuan pengguna untuk memahami hasil analisis.

Marine spatial planning menjadi salah satu ruang penerapan DSS yang paling relevan. Ehler dan Douvere (2009) menjelaskan MSP sebagai pendekatan untuk mengatur aktivitas manusia di laut secara spasial agar tujuan ekologis, sosial, dan ekonomi dapat diseimbangkan. Dalam praktiknya, MSP membutuhkan informasi mengenai ekosistem, aktivitas ekonomi, konflik ruang, dan prioritas konservasi.

Perkembangan terbaru menunjukkan bahwa MSP perlu lebih konsisten menerapkan prinsip ecosystem-based management. Galparsoro et al. (2025) mengembangkan alat assessment untuk membantu menerjemahkan prinsip EBM ke dalam proses MSP. Satumanatpan et al. (2025) menambahkan bahwa keberhasilan MSP dipengaruhi oleh driver, enabling conditions, dan kapasitas implementasi. Dengan demikian, DSS dan MSP harus dihubungkan dengan mekanisme tata kelola yang adaptif dan partisipatif.

Adaptive Governance, Dynamic Ocean Management, dan Adaptive Marine Management

Adaptive governance berkembang dari kesadaran bahwa sistem sumber daya alam tidak dapat dikelola dengan kebijakan yang kaku. Holling (1978) memandang adaptive environmental assessment sebagai proses belajar dari tindakan pengelolaan. Walters (1986) kemudian memperkuat adaptive management sebagai pendekatan yang memperlakukan kebijakan sebagai eksperimen terkelola yang perlu dipantau dan dievaluasi.

Folke et al. (2005) memperluas pendekatan tersebut ke dalam adaptive governance. Tata kelola adaptif menekankan pembelajaran sosial, fleksibilitas kelembagaan, dan jejaring aktor. Williams (2011) menegaskan bahwa adaptive management membutuhkan tujuan yang jelas, monitoring, evaluasi, dan mekanisme penyesuaian. Dengan demikian, adaptasi tidak hanya berarti respons spontan, tetapi proses kelembagaan yang dirancang secara sistematis.

Adaptive co-management memberikan dimensi kolaboratif. Armitage et al. (2009) menunjukkan bahwa kompleksitas sosial-ekologis membutuhkan pembelajaran bersama antara pemerintah, ilmuwan, dan pengguna sumber daya. Dalam pengelolaan laut, prinsip ini penting karena nelayan, masyarakat pesisir, pengelola kawasan, sektor swasta, dan pemerintah sering memiliki pengetahuan serta kepentingan yang berbeda.

Dynamic ocean management menjadi bentuk operasional dari tata kelola adaptif. Maxwell et al. (2015) mendefinisikannya sebagai pengelolaan yang dapat diperbarui secara spasial dan temporal berdasarkan informasi terbaru. Hazen et al. (2018) menunjukkan bahwa alat dinamis dapat mengurangi bycatch dan mendukung perikanan berkelanjutan. Westholm (2023) menambahkan bahwa pendekatan ini relevan di wilayah laut di luar yurisdiksi nasional, tempat dinamika ekologis tidak selalu sejalan dengan batas administratif. Dalam artikel ini, Adaptive Marine Management tidak diposisikan sebagai pendekatan baru yang berdiri sendiri, melainkan sebagai sintesis konseptual yang mengintegrasikan adaptive governance, ecosystem-based management, ecosystem modelling, decision support system, marine spatial planning, marine protected areas, serta mekanisme pembelajaran adaptif dalam satu kerangka pengelolaan biodiversitas laut yang responsif terhadap perubahan sosial-ekologis.

Adaptive Marine Management dalam artikel ini dipahami sebagai sintesis dari pendekatan-pendekatan tersebut. OHI menyediakan diagnosis, EAFM/EBFM menyediakan kerangka pengelolaan, ecosystem modelling menyediakan analisis skenario, DSS dan MSP mendukung keputusan spasial, MPA menjadi instrumen implementasi, dan adaptive governance menyediakan mekanisme pembelajaran. Dengan struktur ini, pengelolaan biodiversitas laut dapat bergerak dari sekadar menilai kondisi menuju sistem yang belajar dan menyesuaikan diri.

Marine Protected Areas, Target 30x30, dan Kualitas Perlindungan

MPA tetap menjadi instrumen penting dalam konservasi biodiversitas laut. Edgar et al. (2014) menunjukkan bahwa keberhasilan MPA bergantung pada fitur seperti perlindungan kuat, penegakan aturan, umur kawasan, ukuran, dan isolasi dari tekanan eksternal. Gill et al. (2017) menegaskan bahwa keterbatasan kapasitas pengelolaan dapat menghambat hasil konservasi, meskipun kawasan telah ditetapkan secara legal.

Kerangka MPA Guide membantu membedakan antara status legal, tingkat perlindungan, tahap implementasi, dan hasil konservasi. Grorud-Colvert et al. (2021) menekankan bahwa kualitas perlindungan menentukan apakah MPA dapat memberi manfaat ekologis yang nyata. Pike et al. (2024) menunjukkan bahwa kualitas perlindungan laut masih tertinggal dibandingkan kuantitas area yang diklaim terlindungi. Argumen ini penting agar target 30x30 tidak hanya dikejar secara numerik.

MPA juga berada pada persimpangan antara konservasi dan pengelolaan perikanan. Kriegl et al. (2021) menjelaskan bahwa MPA dapat menjadi alat konservasi sekaligus bagian dari pengelolaan perikanan jika dirancang secara tepat. Sala et al. (2021) menambahkan bahwa perlindungan laut dapat memberi manfaat bersama bagi biodiversitas, pangan, dan iklim apabila lokasi prioritas dipilih berdasarkan pertimbangan ekologis dan sosial.

Perubahan iklim menuntut MPA yang lebih adaptif. Schmidt et al. (2022) menekankan bahwa MPA harus dipahami dalam konteks sistem sosial-ekologis pesisir yang berubah. Bryce dan Hunter (2024) menunjukkan bahwa target, thresholds, dan tujuan sosial-ekologis dapat memperkuat perencanaan adaptif dalam MPA. Dengan demikian, MPA tidak cukup ditetapkan; ia harus dipantau, dievaluasi, dan disesuaikan.

Blue Economy, Pangan Akuatik, dan Tata Kelola Global

Dimensi sosial juga perlu ditempatkan sebagai bagian dari tata kelola biodiversitas laut. Bennett et al. (2021) menegaskan bahwa konservasi laut harus memperhatikan keadilan sosial, termasuk distribusi manfaat, akses, pengakuan terhadap pengetahuan lokal, dan keterlibatan masyarakat. Perspektif ini penting karena kebijakan konservasi yang kuat secara ekologis dapat kehilangan legitimasi apabila tidak memperhatikan hak dan kebutuhan kelompok yang bergantung pada sumber daya laut.

Pengelolaan biodiversitas laut juga terkait erat dengan ekonomi biru. UNEP (2021) menekankan bahwa krisis iklim, biodiversitas, dan pencemaran harus ditangani secara terpadu. Dalam konteks laut, pertumbuhan ekonomi harus mempertahankan modal alam agar manfaat jangka panjang tidak hilang. Sumaila et al. (2021) menunjukkan bahwa pembiayaan ekonomi laut berkelanjutan memerlukan mekanisme yang mendukung konservasi dan keadilan sosial.

Perikanan skala kecil memiliki kontribusi penting terhadap pembangunan berkelanjutan. FAO (2022) menunjukkan bahwa small-scale fisheries memberi kontribusi pada pangan, gizi, pekerjaan, dan mata pencaharian. FAO (2024) menempatkan Blue Transformation sebagai agenda untuk memperkuat perikanan dan akuakultur yang lebih berkelanjutan. Karena itu, pengelolaan biodiversitas laut harus mempertimbangkan keadilan akses dan ketahanan pangan. Golden et al. (2021) menunjukkan bahwa aquatic foods dapat mendukung gizi masyarakat. Namun, manfaat tersebut dapat terancam oleh risiko iklim majemuk. Tigchelaar et al. (2021) menjelaskan bahwa risiko iklim dapat mengurangi manfaat sistem pangan akuatik. Dengan demikian, strategi pengelolaan laut perlu menghubungkan biodiversitas, perikanan, pangan, dan adaptasi iklim dalam satu kerangka kebijakan.

Agenda 30x30 perlu dijalankan secara inklusif dan efektif. IUCN-WCPA (2023) menekankan pentingnya implementasi Target 3 yang adil dan efektif. UNEP-WCMC & IUCN (2024) menunjukkan bahwa penilaian kawasan terlindungi perlu melihat kualitas implementasi,

bukan hanya luas cakupan. Hal ini memperkuat argumen bahwa Adaptive Marine Management harus berorientasi pada efektivitas, keadilan, dan akuntabilitas.

Implikasi bagi Indonesia

Kerangka Adaptive Marine Management relevan bagi Indonesia karena Indonesia memiliki biodiversitas laut tinggi, wilayah perikanan luas, ekosistem pesisir beragam, serta tekanan pemanfaatan yang kompleks. Di banyak wilayah, pengelolaan menghadapi keterbatasan data, tekanan penangkapan, degradasi habitat, dan konflik ruang laut. Karena itu, pendekatan yang hanya mengandalkan satu instrumen tidak cukup.

Pertama, Indonesia perlu memperkuat assessment kesehatan laut yang sesuai dengan konteks lokal. OHI atau dynamic OHI dapat digunakan sebagai kerangka dasar, tetapi indikator harus disesuaikan dengan kondisi ekosistem, data daerah, dan kebutuhan kebijakan. Kedua, EAFM perlu diarahkan bukan hanya untuk penilaian indikator, tetapi untuk perbaikan kebijakan yang nyata, seperti pengaturan alat tangkap, perlindungan habitat penting, dan penguatan pengawasan.

Ketiga, ecosystem modelling dan DSS perlu dikembangkan secara bertahap. Model yang sederhana tetapi relevan dengan kebutuhan kebijakan sering lebih berguna daripada model kompleks yang sulit dipahami. Keempat, MPA perlu dievaluasi berdasarkan kualitas perlindungan, konektivitas, kepatuhan, dan manfaat sosial. Kelima, MSP perlu digunakan untuk mengurangi konflik ruang laut dan menyeimbangkan konservasi dengan pemanfaatan berkelanjutan.

Dengan demikian, kontribusi utama artikel ini bagi konteks Indonesia adalah menyediakan kerangka konseptual yang dapat membantu mengintegrasikan OHI, EAFM, ecosystem modelling, DSS, MPA, MSP, dan adaptive governance. Kerangka ini dapat digunakan sebagai dasar untuk penelitian lanjutan maupun pengembangan kebijakan pengelolaan biodiversitas laut yang lebih responsif terhadap perubahan iklim dan tekanan pembangunan.

Keterbatasan Review dan Arah Penelitian Lanjutan

Artikel ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, kajian ini bersifat konseptual sehingga tidak melakukan meta-analisis kuantitatif terhadap efektivitas masing-masing pendekatan. Kedua, meskipun literatur yang digunakan telah diperluas, sintesis tetap bergantung pada ketersediaan sumber yang relevan dan dapat diverifikasi. Ketiga, setiap pendekatan yang dibahas memiliki variasi implementasi yang luas antar wilayah, sehingga tidak semua variasi dapat dibahas secara mendalam.

Penelitian lanjutan perlu menguji kerangka Adaptive Marine Management pada konteks empiris tertentu. Pengujian dapat dilakukan pada kawasan konservasi laut, wilayah pengelolaan perikanan, pulau-pulau kecil, atau wilayah pesisir yang menghadapi konflik pemanfaatan ruang. Studi tersebut dapat menggabungkan OHI, indikator EAFM, model ekosistem, DSS, analisis stakeholder, dan evaluasi tata kelola adaptif.

Selain itu, penelitian berikutnya perlu menilai bagaimana data lokal, pengetahuan masyarakat, pemantauan berbasis teknologi, dan instrumen kebijakan dapat diintegrasikan dalam satu siklus adaptive management. Dengan demikian, kerangka konseptual dalam artikel ini dapat dikembangkan menjadi model operasional yang lebih aplikatif bagi pengelolaan biodiversitas laut.

KESIMPULAN

Artikel review ini menunjukkan bahwa pengelolaan biodiversitas laut telah berevolusi dari pendekatan berbasis assessment menuju tata kelola yang lebih adaptif, partisipatif, dan berbasis

pembelajaran. OHI memberikan kontribusi penting sebagai instrumen assessment multidimensi, tetapi assessment saja tidak cukup untuk menjawab kompleksitas pengelolaan laut. EAFM dan EBFM memperluas fokus pengelolaan dengan menghubungkan perikanan, habitat, masyarakat, teknologi, ekonomi, dan kelembagaan.

Ecosystem modelling dan DSS memperkuat pengambilan keputusan berbasis bukti melalui analisis skenario dan evaluasi risiko. Namun, keterbatasan prediksi model menunjukkan bahwa pengelolaan tidak dapat sepenuhnya bergantung pada alat teknis. Adaptive governance, dynamic ocean management, MPA, dan MSP menjadi penting karena menyediakan ruang pembelajaran, penyesuaian kebijakan, dan implementasi spasial.

Adaptive Marine Management dapat dipahami sebagai paradigma integratif yang menggabungkan assessment, ecosystem-based management, modelling, decision support, spatial governance, stakeholder participation, dan adaptive learning. Kontribusi utama artikel ini adalah penyusunan kerangka evolusi konseptual yang menjelaskan bagaimana pendekatan-pendekatan tersebut saling melengkapi. Kerangka ini relevan untuk pengelolaan biodiversitas laut pada wilayah yang menghadapi perubahan iklim, kehilangan biodiversitas, degradasi habitat, tekanan perikanan, dan kompetisi pemanfaatan ruang laut.

DAFTAR PUSTAKA

Adrianto, L., Matsuda, Y., & Sakuma, Y. (2014). Pedoman penilaian indikator untuk pendekatan ekosistem dalam pengelolaan perikanan (EAFM). Direktorat Sumber Daya Ikan, Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia.

Armitage, D. R., Plummer, R., Berkes, F., Arthur, R. I., Charles, A. T., Davidson-Hunt, I. J., Diduck, A. P., Doubleday, N. C., Johnson, D. S., Marschke, M., McConney, P., Pinkerton, E. W., & Wollenberg, E. K. (2009). Adaptive co-management for social-ecological complexity. Frontiers in Ecology and the Environment, 7(2), 95-102.

Bastardie, F., Brown, E. J., Andonegi, E., Arthur, R., Beukhof, E., Depestele, J., Doring, R., Eigaard, O. R., Garcia-Baron, I., Llope, M., Mendes, H., Piet, G., & Reid, D. (2021). A review characterizing 25 ecosystem challenges to be addressed by an ecosystem approach to fisheries management in Europe. Frontiers in Marine Science, 7, 629186.

Bennett, N. J., Katz, L., Yadao-Evans, W., Ahmadia, G. N., Atkinson, S., Ban, N. C., Dawson, N. M., de Vos, A., Fitzpatrick, J., Gill, D., Imirizaldu, M., Lewis, N., Mangubhai, S., Meth, L., Muhl, E.-K., Obura, D., Spalding, A. K., Villagomez, A., Wagner, D., White, A., & Wilhelm, A. (2021). Advancing social equity in and through marine conservation. Frontiers in Marine Science, 8, 711538.

Botelho, L. L., Jeynes-Smith, C., Vollert, S. A., & Bode, M. (2025). Calibrated ecosystem models cannot predict the consequences of conservation management decisions. Ecology Letters, 28, e70034.

Briguglio, M., Ramirez-Monsalve, P., Abela, G., & Armelloni, E. N. (2025). What do people make of Ecosystem Based Fisheries Management? Frontiers in Marine Science, 12, 1553838.

Bryce, K., & Hunter, K. L. (2024). Enhancing climate change planning and adaptive management in marine protected areas through targets, thresholds, and social-ecological objectives. Frontiers in Marine Science, 11, 1339871.

CBD. (2022). Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. Convention on Biological Diversity.

Cheung, W. W. L., Frolicher, T. L., Asch, R. G., Jones, M. C., Pinsky, M. L., Reygondeau, G., Rodgers, K. B., Rykaczewski, R. R., Sarmiento, J. L., Stock, C., & Watson, J. R. (2021). Marine high temperature extremes amplify the impacts of climate change on fish and

fisheries. Science Advances, 7(40), eabh0895.
Chust, G., Gonzalez, M., Fontan, A., Revilla, M., Borja, A., et al. (2022). Climate regime shifts and biodiversity redistribution in the Bay of Biscay. Science of the Total Environment, 803, 149622.
Claudet, J., Bopp, L., Cheung, W. W. L., Devillers, R., Escobar-Briones, E., Haugan, P., Heymans, J. J., Masson-Delmotte, V., Matz-Luck, N., Miloslavich, P., Mullineaux, L., Visbeck, M., Watson, R., Zivian, A. M., Ansorge, I., Araujo, M., Arico, S., Bailly, D., Barbiere, J., ... Gaill, F. (2020). A roadmap for using the UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development in support of science, policy, and action. One Earth, 2(1), 34-42.
Duarte, C. M., Agusti, S., Barbier, E., Britten, G. L., Castilla, J. C., Gattuso, J.-P., Fulweiler, R. W., Hughes, T. P., Knowlton, N., Lovelock, C. E., Lotze, H. K., Predragovic, M., Poloczanska, E., Roberts, C., & Worm, B. (2020). Rebuilding marine life. Nature, 580, 39-51.
Edgar, G. J., Stuart-Smith, R. D., Willis, T. J., Kininmonth, S., Baker, S. C., Banks, S., Barrett, N. S., Becerro, M. A., Bernard, A. T. F., Berkhout, J., Buxton, C. D., Campbell, S. J., Cooper, A. T., Davey, M., Edgar, S. C., Forsterra, G., Galvan, D. E., Irigoyen, A. J., Kushner, D. J., et al. (2014). Global conservation outcomes depend on marine protected areas with five key features. Nature, 506, 216-220.
Ehler, C., & Douvere, F. (2009). Marine Spatial Planning: A Step-by-Step Approach toward Ecosystem-Based Management. IOC Manual and Guides No. 53, ICAM Dossier No. 6. Paris, France: Intergovernmental Oceanographic Commission and Man and the Biosphere Programme, UNESCO. Available at: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000186559
FAO. (2003). Fisheries management. 2. The ecosystem approach to fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries No. 4, Suppl. 2. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
FAO. (2022). Illuminating Hidden Harvests: The contributions of small-scale fisheries to sustainable development. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Duke University, & WorldFish.
FAO. (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in action. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social-ecological systems. Annual Review of Environment and Resources, 30, 441-473.
Free, C. M., Thorson, J. T., Pinsky, M. L., Oken, K. L., Wiedenmann, J., & Jensen, O. P. (2019). Impacts of historical warming on marine fisheries production. Science, 363(6430), 979-983.
Galparsoro, I., Montero, N., Mandiola, G., Menchaca, I., Borja, A., Flannery, W., Katsanevakis, S., Fraschetti, S., Fabbrizzi, E., Elliott, M., Bas, M., Barnard, S., Piet, G., Giakoumi, S., Kruse, M., McAteer, B., Runya, R. M., Lukyanova, O., Morato, T., Van Gerven, A., Degraer, S., Neuenfeldt, S., & Stelzenmuller, V. (2025). Assessment tool addresses implementation challenges of ecosystem-based management principles in marine spatial planning processes. Communications Earth & Environment, 6, 55.
Garcia, S. M., Zerbi, A., Aliaume, C., Do Chi, T., & Lasserre, G. (2003). The ecosystem approach to fisheries: Issues, terminology, principles, institutional foundations, implementation and outlook. FAO Fisheries Technical Paper No. 443. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Gill, D. A., Mascia, M. B., Ahmadia, G. N., Glew, L., Lester, S. E., Barnes, M., Craigie, I., Darling, E. S., Free, C. M., Geldmann, J., Holst, S., Jensen, O. P., White, A. T., Basurto, X., Coad, L., Gates, R. D., Guannel, G., Mumby, P. J., Thomas, H., et al. (2017). Capacity shortfalls hinder the performance of marine protected areas globally. Nature, 543, 665-669.

Golden, C. D., Koehn, J. Z., Shepon, A., Passarelli, S., Free, C. M., Viana, D. F., Matthey, H., Eurich, J. G., Gephart, J. A., Fluet-Chouinard, E., Nyboer, E. A., Lynch, A. J., Kjellevold, M., Bromage, S., Charlebois, P., Barange, M., Vannuccini, S., Cao, L., Kleisner, K. M., & Allison, E. H. (2021). Aquatic foods to nourish nations. Nature, 598, 315-320.

Grorud-Colvert, K., Sullivan-Stack, J., Roberts, C., Constant, V., Horta e Costa, B., Pike, E. P., Kingston, N., Laffoley, D., Sala, E., Claudet, J., Friedlander, A. M., Gill, D. A., Lester, S. E., Day, J. C., Goncalves, E. J., Ahmadia, G. N., Rand, M., Villagomez, A., Ban, N. C., et al. (2021). The MPA Guide: A framework to achieve global goals for the ocean. Science, 373(6560), eabf0861.

Halpern, B. S., Berlow, E., Williams, R., Borer, E. T., Davis, F. W., Dobson, A., Enquist, B. J., Froehlich, H. E., Gerber, L. R., Lortie, C. J., O'Connor, M. I., Regan, H., Vazquez, D. P., & Willard, G. (2020). Ecological synthesis and its role in advancing knowledge. BioScience, 70(11), 1005-1014.

Halpern, B. S., Boettiger, C., Dietze, M. C., Gephart, J. A., Gonzalez, P., Grimm, N. B., Groffman, P. M., Gurevitch, J., Hobbie, S. E., Komatsu, K. J., Kroeker, K. J., Lahr, H. J., Lodge, D. M., Lortie, C. J., Lowndes, J. S. S., Micheli, F., Possingham, H. P., Ruckelshaus, M. H., Scarborough, C., et al. (2023). Priorities for synthesis research in ecology and environmental science. Ecosphere, 14(1), e4342.

Halpern, B. S., Frazier, M., Afflerbach, J., Lowndes, J. S. S., Micheli, F., O'Hara, C., Scarborough, C., & Selkoe, K. A. (2017). Drivers and implications of change in global ocean health over the past five years. PLOS ONE, 12(7), e0178267.

Halpern, B. S., Longo, C., Hardy, D., McLeod, K. L., Samhouri, J. F., Katona, S. K., Kleisner, K., Lester, S. E., O'Leary, J., Ranelletti, M., Rosenberg, A. A., Scarborough, C., Selig, E. R., Best, B. D., Brumbaugh, D. R., Chapin, F. S., Crowder, L. B., Daly, K. L., Doney, S. C., et al. (2012). An index to assess the health and benefits of the global ocean. Nature, 488, 615-620.

Hazen, E. L., Scales, K. L., Maxwell, S. M., Briscoe, D. K., Welch, H., Bograd, S. J., Bailey, H., Benson, S. R., Eguchi, T., Dewar, H., Kohin, S., Costa, D. P., Crowder, L. B., & Lewison, R. L. (2018). A dynamic ocean management tool to reduce bycatch and support sustainable fisheries. Science Advances, 4(5), eaar3001.

Herbert-Read, J. E., Thornton, A., Amon, D. J., Birchenough, S. N. R., Cote, I. M., Dias, M. P., Godley, B. J., Keith, S. A., Mckinley, E., Peck, L. S., Calado, R., Defeo, O., Degraer, S., Johnston, E. L., Kaartokallio, H., Macreadie, P. I., Metaxas, A., Muthumbi, A. W. N., Obura, D. O., et al. (2022). A global horizon scan of issues impacting marine and coastal biodiversity conservation. Nature Ecology & Evolution, 6, 1262-1270.

Hoegh-Guldberg, O., & Bruno, J. F. (2010). The impact of climate change on the world's marine ecosystems. Science, 328(5985), 1523-1528.

Holden, M. H., Plaganyi, E. E., Fulton, E. A., Campbell, A. B., Janes, R., Lovett, R. A., Wickens, M., Adams, M. P., Botelho, L. L., Dichmont, C. M., et al. (2024). Cost-benefit analysis of ecosystem modelling to support fisheries management. Journal of Fish Biology, 104(6), 1667-1674.

Holling, C. S. (Ed.). (1978). Adaptive environmental assessment and management. John Wiley & Sons.

Hutubessy, B. G., & Mosse, J. W. (2015). Ecosystem approach to fisheries management in Indonesia: Review on indicators and reference values. Procedia Environmental Sciences, 23, 148-156.

IPBES. (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.

IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press.

IUCN-WCPA. (2023). 30x30: A guide to inclusive, equitable and effective implementation of Target 3 of the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. International Union for Conservation of Nature.

Jouffray, J.-B., Blasiak, R., Norstrom, A. V., Osterblom, H., & Nystrom, M. (2020). The Blue Acceleration: The trajectory of human expansion into the ocean. One Earth, 2(1), 43-54.

Kriegl, M., Elias Ilosvay, X. E., von Dorrien, C., & Oesterwind, D. (2021). Marine protected areas: At the crossroads of nature conservation and fisheries management. Frontiers in Marine Science, 8, 676264.

Link, J. S. (2010). Ecosystem-based fisheries management: Confronting tradeoffs. Cambridge University Press.

Longo, C. S., Frazier, M., Doney, S. C., Rheuban, J. E., Humberstone, J. M., & Halpern, B. S. (2017). Using the Ocean Health Index to identify opportunities and challenges to improving Southern Ocean ecosystem health. Frontiers in Marine Science, 4, 20.

Mathisen, B. M., Haro, P., Hanssen, B., Bjork, S., & Walderhaug, S. (2016). Decision support systems in fisheries and aquaculture: A systematic review. Computers and Electronics in Agriculture, 128, 231-241.

Maxwell, S. M., Hazen, E. L., Lewison, R. L., Dunn, D. C., Bailey, H., Bograd, S. J., Briscoe, D. K., Fossette, S., Hobday, A. J., Bennett, M., Benson, S., Caldwell, M. R., Costa, D. P., Dewar, H., Eguchi, T., Hazen, L., Kohin, S., Sippel, T., & Crowder, L. B. (2015). Dynamic ocean management: Defining and conceptualizing real-time management of the ocean. Marine Policy, 58, 42-50.

Ocean Panel. (2024). Ocean Panel Progress Report 2024. High Level Panel for a Sustainable Ocean Economy.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, 372, n71.

Pike, E. P., MacCarthy, J. M. C., Hameed, S. O., Harasta, N., Grorud-Colvert, K., Sullivan-Stack, J., Claudet, J., Horta e Costa, B., Goncalves, E. J., Villagomez, A., & Morgan, L. (2024). Ocean protection quality is lagging behind quantity: Applying a scientific framework to assess real marine protected area progress against the 30 by 30 target. Conservation Letters, 17, e13020.

Pikitch, E. K., Santora, C., Babcock, E. A., Bakun, A., Bonfil, R., Conover, D. O., Dayton, P., Doukakis, P., Fluharty, D., Heneman, B., Houde, E. D., Link, J., Livingston, P. A., Mangel, M., McAllister, M. K., Pope, J., & Sainsbury, K. J. (2004). Ecosystem-based fishery management. Science, 305(5682), 346-347.

Pinsky, M. L., Worm, B., Fogarty, M. J., Sarmiento, J. L., & Levin, S. A. (2013). Marine taxa track local climate velocities. Science, 341(6151), 1239-1242.

Plaganyi, E. E. (2007). Models for an ecosystem approach to fisheries. FAO Fisheries Technical

Paper No. 477. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
Rintaka, W. E., Kurniawan, F., Radiarta, I. N., Nurjaya, I. W., & Bengen, D. G. (2023). A review of Ocean Health Index research: Towards the development of its dynamic model in Indonesia. E3S Web of Conferences, 442, 01031.
Rodriguez-Perez, A., Tsikliras, A. C., Gal, G., Steenbeek, J., Falk-Andersson, J., & Heymans, J. J. (2023). Using ecosystem models to inform ecosystem-based fisheries management in Europe: A review of the policy landscape and related stakeholder needs. Frontiers in Marine Science, 10, 1196329.
Sala, E., Mayorga, J., Bradley, D., Cabral, R. B., Atwood, T. B., Auber, A., Cheung, W., Costello, C., Ferretti, F., Friedlander, A. M., Gaines, S. D., Garilao, C., Goodell, W., Halpern, B. S., Hinson, A., Kaschner, K., Kesner-Reyes, K., Leprieur, F., McGowan, J., et al. (2021). Protecting the global ocean for biodiversity, food and climate. Nature, 592, 397-402.
Satumanatpan, S., Chuenwongarun, K., Piyawongnarat, T., Plathong, S., & Zhang, Z. (2025). Pathways in marine spatial planning: A systematic review of drivers and enabling conditions in the Asia-Pacific. Frontiers in Marine Science, 12, 1659088.
Schmidt, D. N., Pieraccini, M., & Evans, L. (2022). Marine protected areas in the context of climate change: Key challenges for coastal social-ecological systems. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 377, 20210131.
Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. Journal of Business Research, 104, 333-339.
Steenbeek, J., Buszowski, J., Christensen, V., Akoglu, E., Aydin, K., Ellis, N., Felinto, D., Guitton, J., Lucey, S., Kearney, K., Mackinson, S., Pan, M., Plaganyi, E., Walters, C., & Coll, M. (2021). The Ecopath with Ecosim food web modelling approach: A review of capabilities, applications and future directions. Ecological Modelling, 451, 109593.
Sumaila, U. R., Walsh, M., Hoareau, K., Cox, A., Teh, L. C. L., Abdallah, P., Akpalu, W., Anna, Z., Benzaken, D., Crona, B., Fitzgerald, T., Heaps, L., Issifu, I., Karousakis, K., Lange, G. M., Leland, A., Miller, D., Sack, K., Shahnaz, D., Thiele, T., Vestergaard, N., Yagi, N., & Zhang, J. (2021). Financing a sustainable ocean economy. Nature Communications, 12, 3259.
Thomas, J., & Harden, A. (2008). Methods for the thematic synthesis of qualitative research in systematic reviews. BMC Medical Research Methodology, 8, 45.
Tigchelaar, M., Cheung, W. W. L., Mohammed, E. Y., Phillips, M. J., Payne, H. J., Selig, E. R., Wabnitz, C. C. C., Oyinlola, M. A., Frolicher, T. L., Gephart, J. A., Golden, C. D., Lam, V. W. Y., & Allison, E. H. (2021). Compound climate risks threaten aquatic food system benefits. Nature Food, 2, 673-682.
UNEP. (2021). Making Peace with Nature: A scientific blueprint to tackle the climate, biodiversity and pollution emergencies. United Nations Environment Programme.
UNEP-WCMC & IUCN. (2024). Protected Planet Report 2024. UNEP World Conservation Monitoring Centre and International Union for Conservation of Nature.
UNESCO-IOC. (2021). The United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030): Implementation Plan. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO.
UNESCO-IOC. (2024). State of the Ocean Report 2024. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO.
United Nations. (2021). The Second World Ocean Assessment. United Nations.
United Nations. (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. United Nations.

United Nations. (2025). Sustainable Development Goal 14: Life Below Water. United Nations.

Walters, C. J. (1986). Adaptive management of renewable resources. Macmillan.

Westholm, A. (2023). Dynamic ocean management in areas beyond national jurisdiction. Ocean Development & International Law. doi: 10.1080/00908320.2023.2296392.

Whittemore, R., & Knafl, K. (2005). The integrative review: Updated methodology. Journal of Advanced Nursing, 52(5), 546-553.

Williams, B. K. (2011). Adaptive management of natural resources: Framework and issues. Journal of Environmental Management, 92(5), 1346-1353.

Worm, B., Barbier, E. B., Beaumont, N., Duffy, J. E., Folke, C., Halpern, B. S., Jackson, J. B. C., Lotze, H. K., Micheli, F., Palumbi, S. R., Sala, E., Selkoe, K. A., Stachowicz, J. J., & Watson, R. (2006). Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. Science, 314(5800), 787-790..