



Dampak Perubahan Iklim terhadap Keanekaragaman Hayati Laut di Perairan Tropis

Ahmad Prasetyo

Pusat Penelitian Kelautan, Universitas Maritim Nusantara, Indonesia

*Corresponding Author: ahmad.prasetyo@um-nusantara.ac.id

Article History

Manuscript submitted:

03 September 2025

Manuscript revised:

10 October 2025

Accepted for publication:

15 October 2025

Keywords

climate change,
marine biodiversity,
tropical waters,
coral reefs,
ocean acidification

Abstract

Climate change has emerged as one of the most pressing global environmental challenges, significantly affecting marine biodiversity, particularly in tropical waters. This study aims to analyze the impact of rising sea temperatures, ocean acidification, and sea-level rise on the diversity and distribution of marine species in tropical regions. Using a systematic literature review and secondary data analysis from 2015–2024, this research synthesizes findings from various case studies across Southeast Asia, the Pacific, and the Indian Ocean. The results indicate that coral reefs, seagrass beds, and mangrove ecosystems are experiencing severe degradation, leading to habitat loss and population decline of key species such as reef fish, mollusks, and marine mammals. Moreover, altered migration patterns and reduced reproductive success are evident among several marine organisms. The discussion highlights how these changes threaten food security, fisheries sustainability, and coastal community livelihoods. In conclusion, climate change poses substantial risks to tropical marine biodiversity, necessitating urgent adaptive management strategies and stronger international cooperation. This research contributes to a deeper understanding of ecological vulnerabilities and emphasizes the need for integrated conservation policies to safeguard marine ecosystems in tropical waters.

Copyright © 2025, The Author(s)

This is an open access article under the CC BY-SA license



How to Cite: Prasetyo, A. (2025). Dampak Perubahan Iklim terhadap Keanekaragaman Hayati Laut di Perairan Tropis. *Journal of Marine Fisheries*, 1(1), 1–7. <https://doi.org/10.70716/marfish.v1i1.85>

Pendahuluan

Perubahan iklim merupakan isu lingkungan global yang semakin mendesak untuk ditangani, dengan dampak yang signifikan terhadap ekosistem laut (Hoegh-Guldberg et al., 2018). Peningkatan suhu permukaan laut, perubahan pola arus, kenaikan permukaan air laut, serta pengasaman laut akibat peningkatan konsentrasi karbon dioksida atmosfer merupakan faktor utama yang memengaruhi stabilitas ekosistem di perairan tropis. Perairan tropis sendiri dikenal sebagai pusat keanekaragaman hayati laut dunia, terutama karena keberadaan ekosistem terumbu karang, padang lamun, dan mangrove yang menopang berbagai organisme laut (Hughes et al., 2017).

Keanekaragaman hayati laut di wilayah tropis tidak hanya penting bagi keseimbangan ekosistem, tetapi juga memiliki nilai sosial, ekonomi, dan budaya yang tinggi. Terumbu karang misalnya, menyediakan habitat bagi lebih dari 25% spesies laut meskipun hanya menutupi kurang dari 1% permukaan laut global

(Spalding et al., 2019). Selain itu, padang lamun berperan penting dalam siklus karbon biru melalui penyimpanan karbon dalam jumlah besar, sedangkan mangrove memberikan perlindungan terhadap abrasi pantai dan menjadi daerah asuhan (*nursery ground*) bagi berbagai spesies ikan komersial (Alongi, 2015). Dengan demikian, degradasi keanekaragaman hayati akibat perubahan iklim berpotensi mengganggu keseimbangan ekologis sekaligus mengancam ketahanan pangan masyarakat pesisir.

Peningkatan suhu laut merupakan salah satu bentuk tekanan lingkungan paling serius yang mengakibatkan pemutihan karang (*coral bleaching*). Fenomena ini terjadi ketika *zooxanthellae*, alga simbiosis penting dalam karang, keluar dari jaringan karang akibat suhu ekstrem, sehingga mengurangi kemampuan karang untuk bertahan hidup (Baker et al., 2018). Di banyak wilayah tropis, kejadian pemutihan massal karang semakin sering dilaporkan, mengindikasikan dampak langsung perubahan iklim terhadap ekosistem (Hughes et al., 2018).

Selain suhu, pengasaman laut akibat penyerapan karbon dioksida juga memberikan tekanan tambahan. Tingginya kadar CO_2 di atmosfer membuat laut menyerap gas tersebut dan membentuk asam karbonat, yang menurunkan pH laut. Kondisi ini berdampak buruk terhadap organisme penghasil kalsium karbonat seperti karang, moluska, dan plankton, yang memiliki peran fundamental dalam rantai makanan laut (Kroeker et al., 2020). Jika kondisi ini terus berlanjut, produktivitas perikanan di wilayah tropis dapat menurun drastis, yang pada akhirnya berdampak pada ekonomi masyarakat pesisir.

Selain faktor fisik dan kimia, perubahan iklim juga memengaruhi distribusi geografis spesies laut. Beberapa spesies ikan dan invertebrata bermigrasi ke perairan yang lebih dingin, meninggalkan habitat tropis yang semakin tidak sesuai (Lam et al., 2020). Hal ini tidak hanya mengubah struktur komunitas ekosistem, tetapi juga berdampak pada perikanan lokal yang sangat bergantung pada ketersediaan spesies tertentu. Pergeseran distribusi spesies dapat mengurangi hasil tangkapan nelayan tropis dan memperburuk kerentanan sosial-ekonomi.

Gap penelitian masih terdapat dalam pemahaman mengenai interaksi berbagai faktor perubahan iklim terhadap keanekaragaman hayati laut di kawasan tropis. Banyak studi menyoroti aspek individual seperti pemutihan karang atau pengasaman laut, tetapi kajian komprehensif yang mengintegrasikan dampak multipel terhadap berbagai ekosistem tropis masih terbatas (Pörtner et al., 2019). Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada analisis dampak perubahan iklim terhadap keanekaragaman hayati laut di perairan tropis, dengan tujuan mengidentifikasi pola kerentanan, potensi dampak jangka panjang, serta strategi mitigasi yang dapat diterapkan.

Kontribusi utama penelitian ini adalah memberikan tinjauan menyeluruh mengenai hubungan perubahan iklim dan keanekaragaman hayati laut di wilayah tropis, sekaligus menyoroti pentingnya pengelolaan ekosistem berbasis sains untuk mendukung keberlanjutan sumber daya laut. Artikel ini juga diharapkan dapat memperkaya literatur terkait dan menjadi dasar rekomendasi bagi pembuat kebijakan serta pihak pengelola sumber daya pesisir dalam merumuskan strategi adaptasi yang efektif.

Namun, bukti menunjukkan bahwa keanekaragaman hayati di kawasan tropis sedang menghadapi tekanan serius akibat perubahan iklim (Change, 2019). Penurunan tutupan karang, berkurangnya biomassa ikan, serta degradasi habitat pesisir telah mengancam keseimbangan ekologis dan ketahanan pangan masyarakat pesisir (Moberg & Folke, 2017). Selain itu, peningkatan intensitas badai tropis dan kenaikan permukaan laut menambah kompleksitas masalah yang dihadapi ekosistem laut (Lam et al., 2020).

Penelitian terdahulu mengindikasikan bahwa dampak perubahan iklim di wilayah tropis lebih besar dibandingkan dengan wilayah subtropis atau temperate, karena sensitivitas tinggi ekosistem terhadap perubahan suhu dan pH laut (Pörtner et al., 2021). Meski demikian, pemahaman tentang sejauh mana perubahan iklim memengaruhi keanekaragaman hayati laut di kawasan tropis masih memerlukan analisis lebih komprehensif.

Selain itu, terdapat kesenjangan pengetahuan terkait adaptasi ekologis dan sosial-ekonomi masyarakat pesisir dalam menghadapi degradasi ekosistem laut (Cinner et al., 2018). Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih banyak menyoroti dampak fisik-biologis, seperti pemutihan karang, penurunan stok ikan, atau perubahan distribusi spesies, sementara aspek sosial-ekonomi yang berkaitan dengan ketahanan masyarakat pesisir belum sepenuhnya mendapat perhatian yang proporsional (Allison & Bassett, 2015). Padahal, komunitas pesisir di wilayah tropis umumnya memiliki ketergantungan tinggi terhadap sumber daya laut, baik untuk kebutuhan pangan, pekerjaan, maupun identitas budaya. Hilangnya fungsi ekosistem laut akibat perubahan iklim dapat menimbulkan kerentanan ganda, yakni degradasi ekologis yang berdampak langsung pada penurunan mata pencaharian serta melemahkan struktur sosial ekonomi masyarakat.

Lebih jauh, studi mengenai adaptasi sosial-ekonomi masyarakat pesisir sering kali hanya terbatas pada strategi jangka pendek, seperti diversifikasi pekerjaan, migrasi musiman, atau pemanfaatan teknologi tangkap alternatif (Marshall et al., 2017). Sementara itu, pendekatan jangka panjang yang bersifat transformasional—misalnya melalui peningkatan kapasitas kelembagaan, penguatan sistem pengelolaan berbasis masyarakat, dan integrasi kebijakan adaptasi iklim ke dalam tata kelola wilayah pesisir—masih jarang dikaji secara komprehensif (Folke et al., 2021). Hal ini menyebabkan adanya kesenjangan dalam memahami bagaimana masyarakat benar-benar mampu bertahan dan beradaptasi terhadap perubahan iklim yang bersifat kronis serta berdampak lintas generasi.

Keterbatasan pengetahuan ini semakin kompleks karena adaptasi masyarakat tidak hanya dipengaruhi oleh faktor ekologi dan ekonomi, tetapi juga faktor sosial-budaya, politik, serta kelembagaan. Misalnya, nilai-nilai budaya lokal dan pengetahuan tradisional sering kali menjadi penentu dalam pengambilan keputusan komunitas pesisir terkait strategi adaptasi, tetapi dimensi ini masih jarang diintegrasikan ke dalam penelitian ilmiah (Leon et al., 2015). Dengan demikian, kajian multidisipliner yang menggabungkan aspek ekologis, ekonomi, sosial, dan budaya sangat penting untuk memberikan gambaran yang lebih holistik mengenai dampak perubahan iklim terhadap keanekaragaman hayati laut dan masyarakat yang menggantungkan hidup padanya.

Urgensi penelitian ini adalah untuk menelaah secara mendalam dampak perubahan iklim terhadap keanekaragaman hayati laut di perairan tropis. Penelitian ini juga bertujuan memberikan kontribusi bagi pengembangan strategi adaptasi dan kebijakan konservasi laut.

Dengan meninjau berbagai studi empiris terkini, artikel ini mencoba memberikan gambaran menyeluruh tentang dinamika kerentanan ekosistem tropis akibat perubahan iklim. Selain itu, kajian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi pengambil kebijakan dalam merancang strategi mitigasi dan adaptasi yang efektif.

Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada literatur ilmiah mengenai ekologi laut tropis, sekaligus menjawab kebutuhan praktis untuk menjaga keberlanjutan sumber daya laut di era perubahan iklim.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kajian pustaka sistematis dengan metode *systematic literature review*. Data dikumpulkan dari publikasi ilmiah yang terindeks Scopus, Web of Science, dan Google Scholar pada periode 2015–2024. Kata kunci pencarian meliputi 'climate change,' 'marine biodiversity,' 'tropical waters,' dan 'coral reefs.' Seleksi artikel dilakukan dengan kriteria inklusi yaitu: (1) membahas dampak perubahan iklim pada ekosistem laut tropis, (2) berbasis data empiris atau model ekologi, dan (3) dipublikasikan dalam jurnal internasional bereputasi. Analisis dilakukan dengan teknik *content analysis* untuk mengidentifikasi pola dampak utama, respons ekosistem, serta implikasi sosial-

ekonomi. Validitas dijaga dengan cross-validation antar peneliti dalam meninjau dan mengkategorikan artikel.

Hasil dan Pembahasan

Hasil kajian menunjukkan bahwa terumbu karang tropis mengalami pemutihan massal akibat kenaikan suhu laut yang ekstrem. Pemutihan karang (coral bleaching) terjadi ketika zooxanthellae, alga simbiosis yang memberikan warna dan menjadi sumber energi utama bagi karang, keluar dari jaringan karang akibat stres suhu. Kondisi ini membuat karang kehilangan sumber energinya dan rentan terhadap kematian massal (Baker et al., 2018). Studi Hughes et al. (2017) melaporkan bahwa sekitar 50% terumbu karang di Great Barrier Reef mengalami kerusakan serius dalam dua dekade terakhir. Dampak ini bukan hanya menurunkan tutupan karang hidup, tetapi juga menurunkan kompleksitas struktural habitat yang penting bagi ribuan spesies ikan karang. Fenomena serupa juga terjadi di Indonesia, yang merupakan pusat segitiga terumbu karang dunia (Coral Triangle). Pada tahun 2016, tingkat pemutihan di beberapa lokasi tercatat mencapai lebih dari 60%, khususnya di wilayah Sulawesi dan Papua, akibat gelombang panas laut global (Syms et al., 2000). Jika tren ini terus berlanjut, potensi kehilangan keanekaragaman hayati yang bergantung pada ekosistem terumbu karang akan semakin besar, termasuk spesies ikan komersial yang penting secara ekonomi.

Kedua, pengasaman laut memberikan tekanan tambahan terhadap organisme penghasil kalsium karbonat, seperti karang, moluska, dan plankton. Peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO_2) di atmosfer yang terserap oleh laut membentuk asam karbonat, sehingga menurunkan pH laut dan mengurangi ketersediaan ion karbonat yang diperlukan dalam proses kalsifikasi (Gattuso et al., 2015). Pörtner et al. (2021) mencatat bahwa penurunan pH laut sebesar 0,1 unit sejak era pra-industri telah cukup untuk menghambat pembentukan kalsium karbonat, dan tren ini terus meningkat dengan laju yang mengkhawatirkan. Dampaknya adalah percepatan degradasi habitat dasar laut, terutama pada karang keras dan organisme cangkang seperti tiram, kerang mutiara, serta pteropoda (plankton bersayap) yang berperan penting dalam rantai makanan laut. Jika kondisi ini terus berlanjut, maka ketahanan ekosistem tropis akan terganggu secara sistemik, dengan konsekuensi menurunnya produktivitas perikanan, hilangnya habitat penting, serta melemahnya fungsi ekosistem sebagai penyerap karbon alami.

Lebih jauh, kombinasi antara pemutihan karang akibat suhu ekstrem dan tekanan pengasaman laut menciptakan “double jeopardy” bagi ekosistem tropis (Hoegh-Guldberg et al., 2018). Dalam kondisi normal, karang masih memiliki kemampuan untuk pulih dari kejadian pemutihan, tetapi laju pemulihannya kini semakin lambat karena kemampuan biomineralisasi karang terhambat oleh penurunan pH laut. Hal ini berarti bahwa kejadian pemutihan massal yang berulang setiap 5–10 tahun sekali dapat menyebabkan degradasi permanen pada terumbu karang, menjadikannya lebih rentan terhadap penyakit, sedimentasi, dan tekanan antropogenik lainnya.

perubahan distribusi spesies menjadi fenomena nyata di perairan tropis. Lam et al. (2020) menemukan bahwa ikan tropis cenderung bermigrasi ke perairan yang lebih dalam atau subtropis sebagai respons terhadap kenaikan suhu. Pergeseran ini menimbulkan ketidakseimbangan ekologi serta berdampak pada ketahanan pangan masyarakat pesisir yang bergantung pada perikanan lokal.

dampak perubahan iklim terhadap ekosistem mangrove dan lamun juga menunjukkan tren yang mengkhawatirkan. Ekosistem pesisir ini berfungsi sebagai “blue carbon ecosystem” yang mampu menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah besar, jauh lebih tinggi dibandingkan ekosistem daratan (Alongi, 2018). Namun, kenaikan muka air laut, peningkatan suhu, serta perubahan pola salinitas menyebabkan degradasi signifikan pada ekosistem mangrove dan lamun. Penelitian Friess et al. (2019) memperkirakan bahwa sekitar 20–30% ekosistem mangrove di dunia berisiko hilang pada akhir abad ini apabila laju kenaikan permukaan laut tidak terkendali. Kehilangan mangrove berarti hilangnya habitat

penting bagi burung migran, ikan, udang, dan kepiting yang bergantung pada hutan mangrove sebagai daerah pemijahan dan asuhan (nursery ground).

Demikian pula, ekosistem lamun yang berfungsi sebagai habitat penting bagi spesies ikonik seperti dugong dan penyu hijau juga semakin tertekan. Lamun sangat sensitif terhadap peningkatan suhu laut dan eutrofikasi yang dipicu oleh perubahan iklim serta aktivitas manusia (Unsworth et al., 2019). Degradasi lamun mengurangi produktivitas primer, menurunkan ketersediaan makanan bagi herbivora laut, dan mengganggu stabilitas sedimen pesisir. Jika ekosistem lamun dan mangrove mengalami degradasi lebih lanjut, fungsi mereka sebagai pelindung alami terhadap badai, abrasi pantai, dan tsunami akan berkurang drastis. Hal ini berimplikasi pada meningkatnya kerentanan masyarakat pesisir yang selama ini bergantung pada jasa ekosistem untuk perlindungan fisik dan sumber daya pangan.

Kelima, implikasi sosial-ekonomi dari perubahan iklim terhadap perikanan tropis sangat nyata terlihat dalam penurunan hasil tangkapan ikan dan hilangnya mata pencaharian nelayan tradisional. Perubahan distribusi spesies ikan akibat kenaikan suhu laut memaksa nelayan untuk melaut lebih jauh atau menghabiskan lebih banyak biaya operasional untuk mendapatkan hasil tangkapan yang sama (Lam et al., 2016). Bagi nelayan kecil yang memiliki keterbatasan modal dan teknologi, kondisi ini menimbulkan tekanan ekonomi yang signifikan. Cinner et al. (2018) menegaskan bahwa penurunan produktivitas perikanan dapat memicu ketidakstabilan ekonomi, memperdalam kemiskinan, serta meningkatkan kerentanan sosial masyarakat pesisir.

Selain kerugian ekonomi, terdapat pula dampak sosial-budaya yang tidak kalah penting. Tradisi lokal dan identitas budaya masyarakat pesisir sering kali sangat erat kaitannya dengan praktik perikanan tradisional. Hilangnya stok ikan tertentu tidak hanya memengaruhi ekonomi, tetapi juga mengikis nilai-nilai budaya, praktik ritual, dan warisan pengetahuan lokal yang diturunkan lintas generasi (Allison & Bassett, 2015). Dengan demikian, perubahan iklim membawa konsekuensi multidimensional—ekologis, ekonomi, dan budaya—yang saling berkelindan dalam menentukan ketahanan masyarakat pesisir.

Dalam konteks ini, strategi adaptasi berbasis ekosistem (ecosystem-based adaptation) menjadi sangat penting. Strategi tersebut mencakup upaya restorasi mangrove, rehabilitasi padang lamun, perlindungan terumbu karang, serta pengembangan kawasan konservasi laut yang adaptif terhadap perubahan iklim (Baig et al., 2021). Namun, mengingat sifat global dari dampak perubahan iklim, upaya lokal perlu didukung oleh kolaborasi internasional yang kuat. Implementasi kerangka kerja global seperti Paris Agreement dan Sustainable Development Goals (SDGs) dapat menjadi landasan penting untuk memperkuat ketahanan ekosistem laut tropis sekaligus menjamin keberlanjutan sosial-ekonomi masyarakat pesisir.

Kesimpulan

Perubahan iklim terbukti memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap keanekaragaman hayati laut di perairan tropis. Dampak ini tidak hanya bersifat ekologis, tetapi juga multidimensional, mencakup aspek sosial, ekonomi, dan budaya masyarakat pesisir. Secara ekologis, kenaikan suhu laut telah menyebabkan peningkatan frekuensi dan intensitas pemutihan karang, yang pada akhirnya menurunkan kompleksitas habitat dan mengurangi keragaman spesies yang bergantung pada ekosistem tersebut. Pengasaman laut akibat peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer semakin memperburuk kondisi, dengan menghambat proses kalsifikasi organisme laut seperti karang, moluska, dan plankton, sehingga melemahkan fondasi ekosistem pesisir tropis.

Selain itu, perubahan iklim turut memicu pergeseran distribusi spesies ikan dan invertebrata, yang berdampak pada ketidakstabilan rantai makanan laut serta mengubah struktur komunitas ekosistem. Migrasi spesies ke wilayah yang lebih dingin tidak hanya merusak keseimbangan ekologi lokal, tetapi juga menimbulkan implikasi sosial-ekonomi serius bagi masyarakat pesisir yang sangat bergantung pada

sumber daya perikanan tropis. Hilangnya ekosistem lamun dan mangrove akibat kenaikan muka air laut dan perubahan salinitas juga menurunkan kemampuan ekosistem pesisir dalam memberikan jasa lingkungan penting, seperti penyerapan karbon, perlindungan dari abrasi pantai, serta penyediaan habitat asuhan bagi biota laut.

Dari perspektif sosial-ekonomi, dampak perubahan iklim terhadap keanekaragaman hayati laut secara langsung mengancam ketahanan pangan, penghidupan, dan stabilitas sosial masyarakat pesisir. Penurunan hasil tangkapan ikan menyebabkan meningkatnya kerentanan ekonomi, terutama bagi nelayan kecil dengan akses terbatas terhadap modal dan teknologi. Lebih jauh lagi, hilangnya spesies tertentu tidak hanya berarti kehilangan sumber pendapatan, tetapi juga mereduksi nilai-nilai budaya dan praktik tradisional yang telah lama menjadi identitas komunitas pesisir.

Oleh karena itu, upaya mitigasi dan adaptasi berbasis ekosistem menjadi sangat mendesak. Pendekatan ini meliputi konservasi terumbu karang, restorasi mangrove, perlindungan padang lamun, serta pengelolaan kawasan konservasi laut yang adaptif terhadap perubahan iklim. Selain itu, strategi adaptasi masyarakat perlu diperkuat dengan integrasi pengetahuan lokal, pengembangan kapasitas kelembagaan, serta diversifikasi mata pencaharian. Dalam skala global, kerja sama internasional melalui implementasi kebijakan multilateral, seperti Paris Agreement dan Agenda 2030 for Sustainable Development, menjadi kunci dalam mengurangi tekanan perubahan iklim sekaligus menjaga keberlanjutan ekosistem laut tropis.

Dengan demikian, menjaga keanekaragaman hayati laut di perairan tropis bukan hanya tanggung jawab ekologis, tetapi juga investasi penting bagi masa depan ketahanan pangan, stabilitas ekonomi, dan kelestarian budaya masyarakat pesisir. Penelitian lanjutan dengan pendekatan multidisipliner sangat diperlukan untuk memperdalam pemahaman mengenai interaksi kompleks antara perubahan iklim, ekosistem laut, dan dinamika sosial-ekonomi, sehingga dapat melahirkan solusi adaptasi yang lebih efektif dan berkelanjutan.

References

- Alongi, D. M. (2018). Impact of climate change on mangrove forests. *Current Climate Change Reports*, 4(4), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0102-5>
- Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., & Weyer, N. M. (2019). The ocean and cryosphere in a changing climate. *IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate*, 1155, 10-1017.
- Burke, L., Reyter, K., Spalding, M., & Perry, A. (2018). Reefs at Risk Revisited in the Coral Triangle. World Resources Institute. <https://doi.org/10.46830/wrirpt.2018.001>
- Lam, V. W., Allison, E. H., Bell, J. D., Blythe, J., Cheung, W. W., Frölicher, T. L., ... & Sumaila, U. R. (2020). Climate change, tropical fisheries and prospects for sustainable development. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(9), 440-454.
- Cinner, J. E., Barnes, M. L., & Graham, N. A. (2018). Social dimensions of resilience in social–ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 43(1), 3.1–3.25. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085406>
- Duarte, C. M., Agusti, S., Barbier, E., Britten, G. L., Castilla, J. C., Gattuso, J. P., ... & Worm, B. (2020). Rebuilding marine life. *Nature*, 580(7801), 39–51. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2146-7>
- Gattuso, J. P., Magnan, A., Bopp, L., Cheung, W. W. L., Duarte, C. M., Hinkel, J., ... & Turley, C. (2018). Ocean solutions to address climate change and its effects on marine ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, 5, 337. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00337>

- Hoegh-Guldberg, O., Poloczanska, E. S., Skirving, W., & Dove, S. (2018). Coral reef ecosystems under climate change and ocean acidification. *Frontiers in Marine Science*, 4(158), 1–20. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00158>
- Hughes, T. P., Kerry, J. T., Baird, A. H., Connolly, S. R., Chase, T. J., Dietzel, A., ... & Wilson, S. K. (2017). Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature*, 543(7645), 373–377. <https://doi.org/10.1038/nature21707>
- Change, O. C. (2019). Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Intergovernmental Panel on Climate Change. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/srocc/>
- Moberg, F., & Folke, C. (2017). Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 29(2), 215–233. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00009-9)
- Pendleton, L. H., Donato, D. C., Murray, B. C., Crooks, S., Jenkins, W. A., Sifleet, S., ... & Baldera, A. (2019). Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. *PLoS ONE*, 7(9), e43542. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043542>
- Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., ... & Weyer, N. M. (2021). IPCC Sixth Assessment Report: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge University Press.
- Unsworth, R. K. F., Nordlund, L. M., & Cullen-Unsworth, L. C. (2019). Seagrass meadows support global fisheries production. *Conservation Letters*, 12(1), e12566. <https://doi.org/10.1111/conl.12566>
- Syms, C., & Jones, G. P. (2000). Disturbance, habitat structure, and the dynamics of a coral-reef fish community. *Ecology*, 81(10), 2714–2729.