



Condition of Coral Reefs in Kiya Village

(Kondisi Terumbu Karang Desa Kiya)

Syahnul Sardi Titaheluw ^{1✉}, Umar Tangke ¹, Mahmud Hasan ¹ dan Fathnun Tan ²

¹ Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Pertanian dan Perikanan, Universitas Muhammadiyah Maluku Utara, Jl. KH. A. Dahlan, No. 100, Kel. Sasa, Kec. Ternate Selatan. Ternate, Indonesia.

² Program Studi Ilmu Administrasi Negara, Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Universitas Muhammadiyah Maluku Utara, Jl. KH. A. Dahlan, No. 100, Kel. Sasa, Kec. Ternate Selatan. Ternate, Indonesia.

✉ Koresponden : titaheluw@gmail.com

Info Artikel :	<input checked="" type="checkbox"/> Artikel Penelitian	<input type="checkbox"/> Artikel Pengabdian	<input type="checkbox"/> Riview Artikel
*Diterima : 13 Jun 2025 *Disetujui : 15 Juli 2025 *Publikasi On-Line : 16 Juli 2025			

Abstract

This study aims to analyze the condition of the coral reef ecosystem in the waters of Kiya Village using the Line Intercept Transect (LIT) method along a 25-meter transect at a depth of 5 meters. The observation results show that the percentage of live coral cover is 29%, which is classified as moderate according to the criteria of Gomez & Yap (1988). The composition of other substrates consists of Dead Scleractinia 12.8%, algae 12.6%, other fauna 22.4%, and abiotic components 23.2%. The relatively high Dead Scleractinia value indicates ecosystem degradation, which is suspected to be influenced by natural and anthropogenic factors, including the potential impact of nickel mining activities in the Gemaf area. The significant proportion of algae and abiotic components has the potential to inhibit coral regeneration and trigger shifts in the benthic community. However, the moderate category for live coral cover indicates the potential for recovery if ecosystem-based management, control of pollution sources, and community involvement are implemented. The results of this study are expected to serve as a basis for conservation and sustainable management efforts for coral reefs in Kiya Village.

Keyword: Coral Reef, Line Intercept Transect, Kiya Village, Ecosystem

I. PENDAHULUAN

Terumbu karang merupakan salah satu ekosistem laut dengan keanekaragaman hayati tertinggi di dunia, menyediakan habitat bagi lebih dari 25% spesies laut meskipun hanya menutupi kurang dari 1% permukaan laut (Nyström et al., 2000; Spalding et al., 2001; Wilkinson, 2008). Ekosistem ini memiliki fungsi ekologis penting seperti melindungi garis pantai dari abrasi, mendukung rantai makanan laut, dan menjadi tempat pembiakan ikan (Moberg & Folke, 1999;

Hoegh-Guldberg et al., 2007; Hughes et al., 2017). Selain itu, terumbu karang memberikan manfaat ekonomi yang signifikan melalui sektor perikanan, pariwisata, dan potensi bioteknologi (Cesar et al., 2003; Burke et al., 2011; Ferrario et al., 2014).

Indonesia merupakan negara kepulauan tropis yang memiliki sekitar 51.000 km² terumbu karang, menempati posisi strategis di Coral Triangle yang dikenal sebagai pusat keanekaragaman hayati laut dunia (Veron et al., 2009; Burke et al., 2011; Allen & Werner, 2002).

Potensi ini mendukung mata pencaharian jutaan masyarakat pesisir melalui perikanan tangkap, budidaya laut, dan pariwisata bahari (Cesar et al., 2003; Foale et al., 2013; Hughes et al., 2017). Namun, keberlanjutan potensi ini sangat tergantung pada kualitas lingkungan laut yang terjaga (Burke et al., 2011; Wilkinson, 2008; Hughes et al., 2017).

Kerusakan terumbu karang di Indonesia terus meningkat akibat kombinasi faktor lokal dan global, seperti penangkapan ikan destruktif, pembangunan pesisir, pencemaran, dan perubahan iklim (Burke et al., 2011; Wilkinson, 2008; Hughes et al., 2017). Peningkatan suhu laut memicu pemutihan karang massal (coral bleaching), sementara sedimentasi dari daratan mengurangi penetrasi cahaya yang diperlukan untuk fotosintesis alga simbiosis karang (Fabricius, 2005; Erftemeijer et al., 2012; Anthony & Fabricius, 2000). Faktor-faktor ini menurunkan tutupan karang hidup dan berdampak pada produktivitas perikanan (Bellwood et al., 2004; Hoegh-Guldberg et al., 2007; Hughes et al., 2017).

Desa Kiya, yang terletak di wilayah pesisir Maluku Utara, memiliki ekosistem terumbu karang yang menjadi sumber pendapatan melalui perikanan dan pariwisata bahari (Burke et al., 2011; Cesar et al., 2003; Hughes et al., 2017). Aktivitas seperti snorkeling, diving, dan wisata edukasi menjadi daya tarik bagi wisatawan (Foale et al., 2013; Ferrario et al., 2014; Spalding et al., 2017). Keberlanjutan kegiatan ini bergantung pada kelestarian terumbu karang, sehingga pemantauan ekosistem laut menjadi kebutuhan penting (Nyström et al., 2000; Hughes et al., 2010; Wilkinson, 2008).

Dalam beberapa tahun terakhir, wilayah Gemaf yang berdekatan dengan perairan Kiya mengalami perkembangan pesat di sektor pertambangan nikel (Azis et al., 2020; Ilahude et al., 2021; Suryawan et al., 2022). Aktivitas pertambangan ini membawa keuntungan ekonomi, namun juga menimbulkan risiko lingkungan berupa peningkatan sedimentasi dan pencemaran perairan (Erftemeijer et al., 2012; Anthony & Fabricius, 2000; Fabricius, 2005). Sedimentasi berlebih dapat menutup permukaan karang dan menghalangi penetrasi cahaya, mengganggu fotosintesis, serta meningkatkan stres fisiologis pada karang (Fabricius, 2005; Rogers, 1990; Hughes et al., 2017).

Pertambangan nikel juga berpotensi melepaskan logam berat seperti nikel, kobalt, dan mangan ke lingkungan (Sembiring et al., 2015; Handayanto et al., 2020; Simamora et al., 2021). Logam berat dapat terakumulasi dalam organisme

laut, mengganggu fungsi fisiologis, dan menurunkan keanekaragaman hayati (Rainbow, 2007; Reichelt-Brushett & Harrison, 2005; Islam & Tanaka, 2004). Dalam jangka panjang, pencemaran ini dapat mempengaruhi rantai makanan laut dan mengancam keberlanjutan perikanan (Burger et al., 2002; Carvalho et al., 2000; Rashed, 2001).

Selain pencemaran dan sedimentasi, aktivitas pertambangan memicu dampak tidak langsung seperti peningkatan lalu lintas kapal pengangkut ore, risiko tumpahan minyak, kebisingan bawah air, dan kerusakan fisik terumbu karang akibat jangkar kapal (Richardson et al., 1995; Erbe et al., 2019; Spalding et al., 2017). Faktor-faktor ini dapat mempercepat degradasi ekosistem laut jika tidak dikelola dengan ketat (Burke et al., 2011; Hughes et al., 2017; Wilkinson, 2008).

Upaya mitigasi harus dilakukan melalui kolaborasi multi-pihak antara pemerintah, perusahaan tambang, masyarakat, dan akademisi (Foale et al., 2013; Hughes et al., 2017; Spalding et al., 2017). Langkah strategis meliputi pemantauan kualitas air secara rutin, penerapan teknologi ramah lingkungan di tambang, pembatasan pembuangan limbah ke sungai, dan rehabilitasi terumbu karang melalui transplantasi (Anthony et al., 2015; Edwards & Gomez, 2007; Barton et al., 2012). Dengan keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi dan konservasi, keberlanjutan ekosistem terumbu karang di Kiya dapat terjaga untuk generasi mendatang (Hoegh-Guldberg et al., 2007; Ferrario et al., 2014; Nyström et al., 2000).

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di perairan Desa Kiya, Kab Halmahera Tengah pada bulan September 2023 pada koordinat 0.47287662 Lintang Utara dan 128.08132077 (LU) Bujur Timur (BT).

Pengambilan data di perairan Desa Kiya dilakukan menggunakan metode Line Intercept Transect (LIT) sebagaimana dijelaskan oleh English et al. (1997). Beberapa transek sepanjang 25 meter dipasang sejajar di atas substrat terumbu karang pada kedalaman rata-rata 5 meter, mencakup zona reef flat hingga reef slope yang mewakili area dengan tutupan karang tinggi dan mudah diakses penyelam. Posisi transek ditentukan menggunakan Global Positioning System (GPS) dan dikaitkan dengan peta habitat untuk memastikan representativitas lokasi. Selama pengamatan, penyelam mengikuti garis

transek dan mencatat kategori substrat yang berada tepat di bawah garis, meliputi karang hidup, karang mati, alga makro, fauna lain (misalnya spons dan anemon), serta komponen abiotik seperti pasir, pecahan karang, dan batuan.

Pencatatan dilakukan secara kontinu dalam satuan panjang intercept (cm) menggunakan underwater slate dan measuring tape tahan air.



Gambar 1. Lokasi penelitian

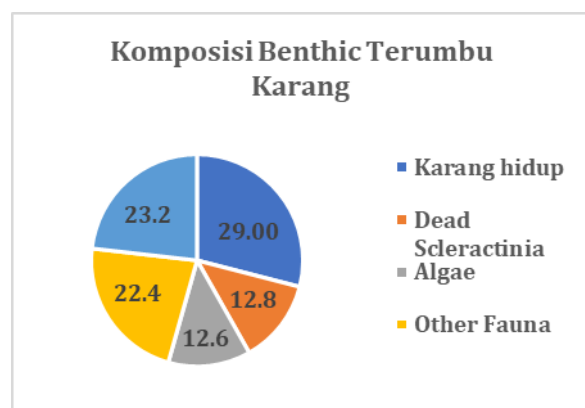
Data yang diperoleh dianalisis persentase tutupan setiap kategori substrat dengan membagi panjang intercept suatu kategori dengan total panjang transek (25 m) dan mengalikannya dengan 100%. Persentase ini kemudian digunakan untuk menilai kondisi ekosistem terumbu karang mengacu pada kriteria Gomez & Yap (1988) serta standar Reef Check (Hodgson et al., 2004) untuk pemantauan kesehatan dan perubahan tutupan karang.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengamatan, persentase tutupan karang hidup di perairan Desa Kiya tercatat sebesar 29%, yang termasuk dalam kategori sedang (25–49%) menurut kriteria Gomez & Yap (1988). Nilai ini menunjukkan bahwa ekosistem terumbu karang masih memiliki fungsi ekologis yang relatif baik, meskipun terdapat indikasi degradasi. Nilai Dead Scleractinia sebesar 12,8% mengindikasikan adanya kematian karang yang kemungkinan disebabkan oleh kombinasi faktor alami dan antropogenik. Proporsi fauna lain yang cukup tinggi, yaitu 22,4%, mengisyaratkan adanya pergeseran komunitas bentik. Keberadaan alga makro sebesar 12,6% dan komponen abiotik seperti pasir, pecahan karang, dan batuan sebesar

23,2% menunjukkan bahwa sebagian besar ruang substrat tidak lagi ditempati oleh karang hidup.

Persentase tutupan karang hidup yang berada pada kategori sedang mengindikasikan kapasitas ekologis yang masih cukup untuk mempertahankan fungsi-fungsi penting terumbu karang, seperti penyediaan habitat, perlindungan pantai, dan penopang produktivitas perikanan (Hughes et al., 2017; Moberg & Folke, 1999; Spalding et al., 2001). Namun, nilai ini juga merefleksikan adanya penurunan kualitas dibandingkan dengan kondisi optimal, di mana tutupan karang hidup umumnya melebihi 50% (Wilkinson, 2008; Bruno & Selig, 2007; Burke et al., 2011).



Gambar 2. Komposisi bentik terumbu karang

Nilai Dead Scleractinia sebesar 12,8% menjadi indikasi kuat bahwa sebagian koloni karang mengalami kematian yang relatif baru atau sedang berada dalam tahap awal kolonisasi kembali. Faktor penyebabnya dapat meliputi sedimentasi, pencemaran, kenaikan suhu laut, dan badai tropis (Fabricius, 2005; Anthony & Fabricius, 2000; Erftemeijer et al., 2012). Menurut Hughes et al. (2017), kondisi ini merupakan tanda peringatan awal yang memerlukan tindakan pengelolaan segera untuk mencegah degradasi lebih lanjut.

Proporsi fauna lain sebesar 22,4% menunjukkan kemungkinan terjadinya pergeseran struktur komunitas bentik dari dominasi karang hermatipik menuju dominasi organisme non-karang seperti spons, ascidian, atau anemon (Done, 1992; McClanahan et al., 2012; Norström et al., 2009). Pergeseran ini sering kali dikaitkan dengan menurunnya kualitas lingkungan dan berkurangnya daya saing karang dalam memperebutkan ruang, yang pada akhirnya dapat mengubah dinamika ekosistem secara keseluruhan (Bellwood et al., 2004; Graham et al., 2014; Hughes et al., 2010).

Keberadaan alga makro sebesar 12,6% patut mendapat perhatian karena dapat menghambat rekrutmen karang baru. Alga bersaing langsung dengan karang dalam memperoleh cahaya dan ruang serta berpotensi menghasilkan senyawa alelopatik yang mengganggu pertumbuhan larva karang (McCook, 1999; Diaz-Pulido & McCook, 2002; Birrell et al., 2008). Dominasi alga sering kali dipicu oleh peningkatan nutrisi akibat limbah domestik, pertanian, maupun aktivitas industri (Lapointe, 1997; Fabricius, 2005; Smith et al., 2016).

Persentase komponen abiotik sebesar 23,2% dapat menjadi indikator adanya gangguan fisik pada terumbu karang, seperti badai, penangkapan ikan destruktif, atau sedimentasi tinggi (Rogers, 1990; Anthony & Fabricius, 2000; Erftemeijer et al., 2012). Pecahan karang yang mendominasi substrat dapat menghambat pemulihan karena ketidakstabilannya membuat larva sulit menempel dan bertahan hidup (Fox et al., 2003; Hughes, 1994; Raymundo et al., 2007).

Letak Desa Kiya yang berdekatan dengan wilayah pertambangan nikel di Gemaf menambah tekanan ekologis terhadap terumbu karang. Aktivitas pertambangan berpotensi meningkatkan beban sedimen dan kadar logam berat yang dapat merusak jaringan karang serta mengganggu proses fisiologisnya (Sembiring et al., 2015; Handayanto et al., 2020; Islam & Tanaka, 2004). Sedimentasi dapat menghalangi penetrasi

cahaya untuk fotosintesis zooxanthellae, sementara logam berat dapat terakumulasi dalam jaringan karang dan organisme laut lainnya (Reichelt-Brushett & Harrison, 2005; Hughes et al., 2017).

Meskipun terdapat indikasi degradasi, nilaiutupan karang hidup yang masih berada pada kisaran sedang menunjukkan adanya potensi pemulihan jika tekanan lingkungan dapat dikurangi. Pemulihan memerlukan kondisi habitat yang baik, ketersediaan larva karang, serta rendahnya frekuensi gangguan berulang (Edwards & Gomez, 2007; Barton et al., 2012; Anthony et al., 2015).

Pengelolaan berbasis ekosistem menjadi strategi penting dalam menjaga dan meningkatkan kesehatan terumbu karang. Pendekatan ini meliputi konservasi, pemantauan kualitas air, pengendalian sumber pencemaran, serta perlindungan habitat kunci (Hughes et al., 2017; Foale et al., 2013; Spalding et al., 2017). Penerapan strategi ini memerlukan koordinasi antara pemerintah, peneliti, dan masyarakat lokal.

Kondisi terumbu karang di Desa Kiya memiliki implikasi langsung terhadap kesejahteraan masyarakat pesisir, yang bergantung pada sumber daya laut untuk mata pencaharian dan ketahanan pangan. Degradasi terumbu karang dapat berdampak pada penurunan stok ikan, hilangnya potensi wisata, dan berkurangnya perlindungan pantai (Moberg & Folke, 1999; Burke et al., 2011; Spalding et al., 2017). Oleh karena itu, diperlukan langkah-langkah mitigasi yang melibatkan partisipasi aktif masyarakat, seperti pembentukan kawasan konservasi laut berbasis komunitas, peningkatan kesadaran lingkungan, dan penerapan praktik perikanan berkelanjutan.

IV. PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian menggunakan metode Line Intercept Transect (LIT) di perairan Desa Kiya, diperoleh persentaseutupan karang hidup sebesar 29% yang termasuk kategori sedang menurut kriteria Gomez & Yap (1988). Kondisi ini menunjukkan bahwa ekosistem terumbu karang masih memiliki fungsi ekologis yang cukup baik, namun telah mengalami degradasi yang signifikan. Proporsi Dead Scleractinia sebesar 12,8%, fauna lain 22,4%, alga 12,6%, dan komponen abiotik 23,2% mengindikasikan adanya tekanan ekologis yang bersumber dari kombinasi faktor alami dan antropogenik, termasuk potensi dampak aktivitas pertambangan nikel di wilayah Gemaf.

Tingginya komponen abiotik dan kehadiran alga makro berpotensi menghambat proses regenerasi karang dan memicu pergeseran komunitas bentik. Meskipun demikian, nilaiutupan karang hidup yang masih berada pada kategori sedang menunjukkan bahwa potensi pemulihan tetap ada jika dilakukan pengelolaan yang tepat, termasuk pengendalian sedimentasi, pencemaran, dan gangguan fisik, serta pelibatan masyarakat dalam program konservasi. Upaya konservasi yang terintegrasi dengan pengelolaan sumber daya pesisir secara berkelanjutan sangat diperlukan untuk menjaga keberlanjutan fungsi ekosistem terumbu karang dan kesejahteraan masyarakat pesisir di Desa Kiya.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, G. R., & Werner, T. B. (2002). Coral reef fish assessment in the 'coral triangle' of southeastern Asia. *Environmental Biology of Fishes*, 65(2), 209–214. <https://doi.org/10.1023/A:1020093012502>.
- Anthony, K. R. N., & Fabricius, K. E. (2000). Shifting roles of heterotrophy and autotrophy in coral energetics under varying turbidity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 252(2), 221–253. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(00\)00237-9](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(00)00237-9).
- Anthony, K. R. N., Marshall, P. A., Abdulla, A., Beeden, R., Bergh, C., Black, R., ... & Wear, S. (2015). Operationalizing resilience for adaptive coral reef management under global environmental change. *Global Change Biology*, 21(1), 48–61. <https://doi.org/10.1111/gcb.12700>
- Azis, M., Hidayat, T., & Fatimah, S. (2020). Dampak pertambangan nikel terhadap lingkungan pesisir di Maluku Utara. *Jurnal Kelautan Tropis*, 23(1), 55–64. <https://doi.org/10.14710/jkt.v23i1.25614>.
- Barton, J. A., Willis, B. L., & Hutson, K. S. (2012). Coral propagation: a review of techniques for ornamental trade and reef restoration. *Reviews in Aquaculture*, 4(3), 92–130. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01070.x>
- Bellwood, D. R., Hughes, T. P., Folke, C., & Nyström, M. (2004). Confronting the coral reef crisis. *Nature*, 429(6994), 827–833. <https://doi.org/10.1038/nature02691>.
- Birrell, C. L., McCook, L. J., Willis, B. L., & Diaz-Pulido, G. (2008). Effects of benthic algae on the replenishment of corals and the implications for the resilience of coral reefs. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 46, 25–63.
- Bruno, J. F., & Selig, E. R. (2007). Regional decline of coral cover in the Indo-Pacific: timing, extent, and subregional comparisons. *PLoS ONE*, 2(8), e711. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000711>.
- Burger, J., Gaines, K. F., & Gochfeld, M. (2002). Ethnoecological and ecotoxicological perspectives on migratory fish consumption: Atlantic sturgeon in Georgia, USA. *Environmental Research*, 90(3), 231–244. [https://doi.org/10.1016/S0013-9351\(02\)00025-9](https://doi.org/10.1016/S0013-9351(02)00025-9).
- Burke, L., Reytar, K., Spalding, M., & Perry, A. (2011). *Reefs at risk revisited*. Washington, DC: World Resources Institute.
- Carvalho, F. P., Villeneuve, J. P., Cattini, C., Tolosa, I., & Mee, L. D. (2000). Levels and sources of organic contaminants in mussels from the Adriatic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 40(10), 938–946. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00094-1](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00094-1).
- Cesar, H., Burke, L., & Pet-Soede, L. (2003). *The economics of worldwide coral reef degradation*. Cesar Environmental Economics Consulting.
- Diaz-Pulido, G., & McCook, L. J. (2002). The fate of bleached corals: patterns and dynamics of algal recruitment. *Marine Ecology Progress Series*, 232, 115–128. <https://doi.org/10.3354/meps232115>.
- Done, T. J. (1992). Phase shifts in coral reef communities and their ecological significance. *Hydrobiologia*, 247(1–3), 121–132. <https://doi.org/10.1007/BF00008211>.
- Edwards, A. J., & Gomez, E. D. (2007). Reef restoration concepts and guidelines: making sensible management choices in the face of uncertainty. *Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Program*.
- English, S., Wilkinson, C., & Baker, V. (1997). *Survey manual for tropical marine resources (2nd ed.)*. Townsville: Australian Institute of Marine Science.
- Erbe, C., Marley, S. A., Schoeman, R. P., Smith, J. N., Trigg, L. E., & Embling, C. B. (2019). The effects of ship noise on marine mammals—a review. *Frontiers in Marine Science*, 6, 606. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00606>.

- Erfteimeijer, P. L., Riegl, B., Hoeksema, B. W., & Todd, P. A. (2012). Environmental impacts of dredging and other sediment disturbances on corals: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 64(9), 1737–1765. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.05.008>.
- Fabricius, K. E. (2005). Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 50(2), 125–146. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.11.028>.
- Ferrario, F., Beck, M. W., Storlazzi, C. D., Micheli, F., Shepard, C. C., & Airoidi, L. (2014). The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. *Nature Communications*, 5, 3794. <https://doi.org/10.1038/ncomms4794>.
- Foale, S., Adhuri, D., Aliño, P., Allison, E. H., Andrew, N., Cohen, P., ... & Weeratunge, N. (2013). Food security and the Coral Triangle Initiative. *Marine Policy*, 38, 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.05.033>.
- Fox, H. E., Pet, J. S., Dahuri, R., & Caldwell, R. L. (2003). Recovery in rubble fields: long-term impacts of blast fishing. *Marine Pollution Bulletin*, 46(8), 1024–1031. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(03\)00246-7](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(03)00246-7).
- Gomez, E. D., & Yap, H. T. (1988). Monitoring reef condition. In R. A. Kenchington & B. E. T. Hudson (Eds.), *Coral reef management handbook* (pp. 171–178). UNESCO Regional Office for Science and Technology for Southeast Asia.
- Graham, N. A. J., Bellwood, D. R., Cinner, J. E., Hughes, T. P., Norström, A. V., & Nyström, M. (2014). Managing resilience to reverse phase shifts in coral reefs. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(9), 541–548. <https://doi.org/10.1890/130305>.
- Handayanto, E., Suryawan, I. W., & Nugraha, W. D. (2020). Pencemaran logam berat di wilayah pertambangan nikel. *Jurnal Lingkungan dan Pembangunan*, 24(2), 105–117.
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., ... & Knowlton, N. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318(5857), 1737–1742. <https://doi.org/10.1126/science.1152509>.
- Hughes, T. P. (1994). Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science*, 265(5178), 1547–1551. <https://doi.org/10.1126/science.265.5178.1547>.
- Hughes, T. P., Barnes, M. L., Bellwood, D. R., Cinner, J. E., Cumming, G. S., Jackson, J. B., ... & Scheffer, M. (2017). Coral reefs in the Anthropocene. *Nature*, 546(7656), 82–90. <https://doi.org/10.1038/nature22901>.
- Hughes, T. P., Graham, N. A., Jackson, J. B., Mumby, P. J., & Steneck, R. S. (2010). Rising to the challenge of sustaining coral reef resilience. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(11), 633–642. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.07.011>.
- Islam, M. S., & Tanaka, M. (2004). Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 48(7–8), 624–649. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.12.004>.
- Lapointe, B. E. (1997). Nutrient thresholds for bottom-up control of macroalgal blooms on coral reefs in Jamaica and southeast Florida. *Limnology and Oceanography*, 42(5), 1119–1131. https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.5_part_2.1119.
- McClanahan, T. R., Graham, N. A., MacNeil, M. A., Muthiga, N. A., Cinner, J. E., Bruggemann, J. H., & Wilson, S. K. (2012). Critical thresholds and tangible targets for ecosystem-based management of coral reef fisheries. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(41), 17230–17233. <https://doi.org/10.1073/pnas.1106861108>.
- McCook, L. J. (1999). Macroalgae, nutrients and phase shifts on coral reefs: scientific issues and management consequences for the Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 18(4), 357–367. <https://doi.org/10.1007/s003380050213>.
- Moberg, F., & Folke, C. (1999). 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).
- Norström, A. V., Nyström, M., Lokrantz, J., & Folke, C. (2009). Alternative states on coral reefs: beyond coral–macroalgal phase shifts. *Marine Ecology Progress Series*, 376, 295–306. <https://doi.org/10.3354/meps07815>.

- Nyström, M., Folke, C., & Moberg, F. (2000). Coral reef disturbance and resilience in a human-dominated environment. *Trends in Ecology & Evolution*, 15(10), 413–417. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)01948-0](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)01948-0).
- Rainbow, P. S. (2007). Trace metal bioaccumulation: models, metabolic availability and toxicity. *Environment International*, 33(4), 576–582. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.007>.
- Rashed, M. N. (2001). Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environment International*, 27(1), 27–33. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00050-2](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00050-2).
- Raymundo, L. J., Maypa, A. P., Gomez, E. D., & Cadiz, P. (2007). Can dynamite-blasted reefs recover? A novel, low-tech approach to stimulating natural recovery in fish and coral populations. *Marine Pollution Bulletin*, 54(7), 1009–1019. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.02.010>.
- Reichelt-Brushett, A. J., & Harrison, P. L. (2005). The effect of copper, zinc and cadmium on fertilization success of gametes from scleractinian reef corals. *Marine Pollution Bulletin*, 50(12), 1108–1111. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.04.033>.
- Richardson, W. J., Greene Jr, C. R., Malme, C. I., & Thomson, D. H. (1995). *Marine mammals and noise*. Academic Press.
- Rogers, C. S. (1990). Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Marine Ecology Progress Series*, 62, 185–202. <https://doi.org/10.3354/meps062185>.
- Sembiring, M., Salama, H., & Irawan, B. (2015). Potensi pencemaran logam berat pada ekosistem pesisir di wilayah pertambangan nikel. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 13(1), 13–22. <https://doi.org/10.14710/jil.13.1.13-22>.
- Simamora, M., Rahman, A., & Nugroho, S. P. (2021). Distribusi logam berat pada sedimen dan biota di perairan pesisir. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 26(2), 79–88. <https://doi.org/10.14710/jik.v26i2.12562>.
- Smith, J. E., Brainard, R., Carter, A., Grillo, S., Edwards, C., Harris, J., ... & Vroom, P. S. (2016). Re-evaluating the health of coral reef communities: baselines and evidence for human impacts across the central Pacific. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1822), 20151985. <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.1985>.
- Spalding, M. D., Ravilious, C., & Green, E. P. (2001). *World atlas of coral reefs*. University of California Press.
- Spalding, M. D., Burke, L., Wood, S. A., Ashpole, J., Hutchison, J., & zu Ermgassen, P. (2017). Mapping the global value and distribution of coral reef tourism. *Marine Policy*, 82, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.014>.
- Suryawan, I. W., Handayanto, E., & Nugraha, W. D. (2022). Dampak aktivitas pertambangan nikel terhadap kualitas perairan pesisir. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 23(2), 137–148. <https://doi.org/10.29122/jtl.v23i2.5384>.
- Veron, J. E. N., DeVantier, L. M., Turak, E., Green, A. L., Kininmonth, S., Stafford-Smith, M., & Peterson, N. (2009). Delineating the Coral Triangle. *Galaxea, Journal of Coral Reef Studies*, 11(2), 91–100. <https://doi.org/10.3755/galaxea.11.91>
- Wilkinson, C. (2008). *Status of coral reefs of the world: 2008*. Townsville: Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre.



Copyright© Juni 2025. Syahnul Sardi Titaheluw, Umar Tangke, Mahmud Hasan, Fathnun Tan

