

Kondisi Dasar Terumbu Karang sebagai Informasi Awal Pengelolaan Pesisir di Kabupaten Pangandaran

Baseline Coral Reef Condition as Preliminary Information for Coastal Management in Pangandaran Regency

Pringgo Kusuma D. N. Y. Putra* dan Lady Ayu Sri Wijayanti

Departemen Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran

Abstrak

Ketersediaan data ekologi dasar merupakan prasyarat penting dalam mendukung pengelolaan pesisir yang berkelanjutan, khususnya pada wilayah dengan tekanan aktivitas manusia yang meningkat. Kabupaten Pangandaran merupakan kawasan pesisir dengan intensitas perikanan dan pariwisata bahari yang tinggi, namun informasi ilmiah mengenai kondisi terumbu karang masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menilai kondisi dasar terumbu karang di perairan Desa Batukaras sebagai informasi awal bagi pengembangan kegiatan monitoring dan pengelolaan pesisir. Pengambilan data dilakukan pada November 2025 menggunakan metode *Underwater Photo Transect* pada dua transek sepanjang 50 m di kedalaman 8–10 m. Komposisi benthik dianalisis hingga tingkat *lifeform* menggunakan perangkat lunak CPCe, serta dihitung Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener (H') dan Indeks Simpson ($1-D$). Hasil penelitian menunjukkan tutupan karang hidup sebesar 55,18% yang tergolong dalam kategori baik. Karang keras mendominasi komunitas benthik (50,16%) dengan *Coral Foliose* sebagai *lifeform* utama (77,18%), sementara kategori karang mati terbaru tidak ditemukan. Nilai indeks keanekaragaman relatif rendah hingga sedang ($H' = 0,94$; $1-D = 0,55$), mencerminkan dominasi bentuk pertumbuhan tertentu dan kompleksitas struktur yang terbatas. Meskipun kondisi tutupan karang cukup baik, proporsi *rubble* yang cukup tinggi (22,28%) menunjukkan perlunya pemantauan berkelanjutan. Temuan ini menyediakan data dasar yang penting untuk mendukung pengelolaan adaptif dan perencanaan monitoring jangka panjang di wilayah penelitian.

Kata Kunci: Struktur Komunitas, Tutupan Benthik, Keanekaragaman Hayati, Survei Bawah Air, Monitoring Jangka Panjang.

Abstract

The availability of baseline ecological data is essential for sustainable coastal management, particularly in areas experiencing increasing anthropogenic pressure. Pangandaran Regency, Indonesia, is a coastal region characterized by intensive fisheries and marine tourism activities; however, scientific information on the current condition of its coral reefs remains limited. This study aimed to assess the baseline condition of coral reefs in the waters of Batukaras Village as preliminary information to support future monitoring and coastal management efforts. Field surveys were conducted in November 2025 using the Underwater Photo Transect (UPT) method along two 50-m transects at depths of 8–10 m. Benthic composition was analyzed to lifeform level using CPCe software, and diversity indices were calculated using the Shannon–Wiener (H') and Simpson ($1-D$) indices. The total live coral cover reached 55.18%, indicating a generally good reef condition. Hard coral dominated the benthic composition (50.16%), with Coral Foliose as the most abundant lifeform (77.18% of hard coral cover), while recent dead coral was absent. However, diversity values were relatively low to moderate ($H' = 0.94$; $1-D = 0.55$), reflecting dominance by a particular lifeform and limited structural complexity. Although the reef exhibited relatively stable live coral cover, the high proportion of rubble (22.28%) suggests the need for continued monitoring. These findings provide essential baseline data for developing long-term reef monitoring and adaptive coastal management in Pangandaran.

Keywords: Community Structure, Benthic Cover, Biodiversity Indices, Underwater Survey, Long-Term Monitoring.

PENDAHULUAN

Terumbu karang merupakan ekosistem pesisir yang memiliki peran ekologis dan ekonomis yang sangat penting, antara lain sebagai habitat bagi berbagai organisme laut, pelindung alami pantai dari abrasi, serta penopang produktivitas perikanan pesisir (Moberg and Folke, 1999; Spalding *et al.*, 2017) *et al.* Selain itu, terumbu karang juga memiliki nilai ekonomi yang signifikan melalui sektor pariwisata bahari dan jasa

lingkungan lainnya (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2017) *et al.* Namun demikian, terumbu karang termasuk ekosistem yang sangat rentan terhadap berbagai tekanan, khususnya yang bersumber dari aktivitas manusia seperti perikanan, pembangunan pesisir, pencemaran, dan pariwisata yang tidak terkelola dengan baik (Edinger *et al.*, 2000; Burke, 2011; Hughes *et al.*, 2017) *et alet al.* Berbagai penelitian di wilayah pesisir Indonesia menunjukkan bahwa meningkatnya tekanan antropogenik berkontribusi

Artikel diterima pada 12 Februari 2026

Artikel direvisi pada 13 Februari 2026

Artikel disetujui untuk publikasi pada 13 Februari 2026

Dipublikasikan oleh Program Studi Peternakan, PSDKU Pangandaran,
Fakultas Peternakan, Universitas Padjadjaran

*Penulis Korespondensi: pringgo.kusuma@unpad.ac.id

ISSN 2774-5805

Doi: <https://doi.org/10.24198/jsdh.v7i1.69815>

terhadap penurunan kualitas terumbu karang, sekaligus menegaskan pentingnya ketersediaan data ekologi sebagai dasar pengelolaan pesisir yang berkelanjutan dan berbasis bukti ilmiah (Edinger and Risk, 2000; Zamani and Madduppa, 2011)

Kabupaten Pangandaran merupakan salah satu kawasan pesisir di selatan Pulau Jawa yang memiliki tingkat pemanfaatan pesisir yang tinggi. Wilayah ini menjadi pusat berbagai aktivitas, seperti perikanan tangkap, budidaya laut, serta pariwisata bahari yang terus berkembang pesat (Rizqiyanto and Mausili, 2025). Berbagai bentuk aktivitas tersebut berpotensi menimbulkan tekanan terhadap ekosistem terumbu karang apabila tidak didukung oleh pengelolaan berbasis data dan pemantauan yang memadai (Hawkins and Roberts, 1992).

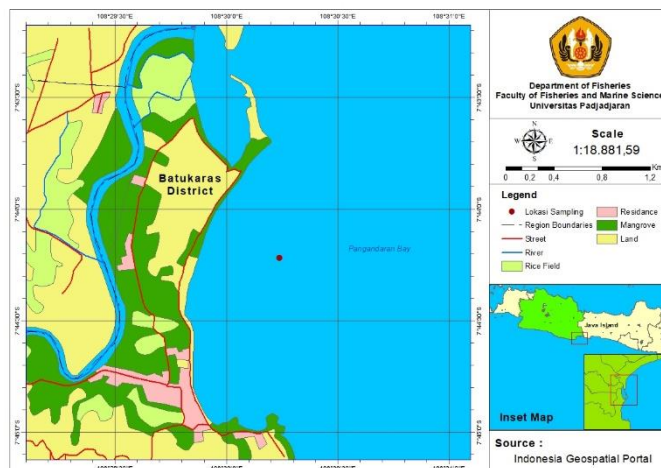
Informasi ilmiah mengenai kondisi terumbu karang di Kabupaten Pangandaran sudah pernah dipublikasi sebelumnya oleh Hartati and Rahman (2016). Namun setelah publikasi tersebut, belum banyak penelitian lanjutan yang melaporkan kondisi terkini terumbu karang di Pangandaran secara kuantitatif. Kondisi ini berbeda dengan beberapa kawasan pesisir lain di Indonesia yang telah memiliki data monitoring terumbu karang secara berkala (Madduppa *et al.*, 2017). Ketiadaan data terbaru menyebabkan keterbatasan dalam menilai perubahan kondisi terumbu karang dari waktu ke waktu.

Berbagai penelitian di wilayah lain menunjukkan bahwa pendataan awal terumbu karang mampu memberikan gambaran kondisi ekosistem secara kuantitatif dan objektif (English *et al.*, 1994; Giyanto *et al.*, 2014) *et alet al.* Data tutupan bentik dan indeks keanekaragaman dapat diperoleh dan digunakan sebagai indikator kesehatan terumbu karang sebagai dasar penyusunan rencana pengelolaan (Obura *et al.*, 2019) *et al.* Penggunaan data yang tepat memungkinkan untuk menganalisis ulang serta dibandingkan pada waktu mendatang. Namun, penerapan metode tersebut di Kabupaten Pangandaran masih sangat terbatas dan belum menjadi bagian dari sistem monitoring yang berkelanjutan.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan pada pendataan awal kondisi terumbu karang pada salah satu lokasi di Kabupaten Pangandaran. Tujuan penelitian ini adalah menilai kondisi dasar terumbu karang pada salah satu lokasi perairan di Kabupaten Pangandaran sebagai informasi awal untuk kegiatan monitoring dan pengelolaan ekosistem terumbu karang. Data yang dihasilkan diharapkan dapat memberikan gambaran kondisi dasar terumbu karang di lokasi penelitian. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi landasan awal untuk pengembangan kegiatan monitoring terumbu karang secara berkelanjutan. Dengan tersedianya data ekologi dasar, upaya pengelolaan pesisir yang menyeimbangkan kepentingan ekologis dan aktivitas manusia dapat mulai dirancang secara lebih terarah dan berbasis bukti ilmiah.

METODOLOGI

Penelitian dilaksanakan pada bulan November 2025 di perairan Desa Batukaras, Kabupaten Pangandaran, Jawa Barat. Lokasi penelitian yang dipilih adalah daerah yang berdasarkan informasi masyarakat memiliki akses yang sering dan mudah dikunjungi untuk kegiatan menangkap ikan oleh nelayan, rekreasi *diving*, dan juga *spearfishing*. Lokasi ini biasa dikenal oleh masyarakat setempat dengan nama Cadas Malang. Peta lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampling Terumbu Karang

Metode Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan mengacu pada Panduan Monitoring Kesehatan Terumbu Karang (Giyanto *et al.*, 2014) *et al.* Metode yang digunakan adalah metode *Underwater Photo Transect* (UPT) dengan menggunakan peralatan SCUBA. Pada lokasi penelitian dipasang dua garis transek sejajar, masing-masing dengan panjang transek 50 meter. Transek ditempatkan pada kedalaman perairan sekitar 8–10 meter, menyesuaikan dengan distribusi terumbu karang di lokasi penelitian. Sepanjang masing-masing transek dilakukan pengambilan foto bawah air pada interval setiap 1 meter sehingga diperoleh total 50 foto untuk setiap garis transek dengan luas bidang setiap pengambilan gambar sebesar 0,5 x 0,5 m². Pengambilan foto dimulai dari sebelah kiri transek pada interval ganjil dan sebelah kanan transek pada interval genap. Foto bawah air diambil menggunakan kamera bawah air dengan posisi kamera tegak lurus terhadap substrat untuk meminimalkan distorsi visual. Setiap foto merepresentasikan kondisi bentik pada titik pengamatan tertentu di sepanjang transek.

Pengolahan dan Analisis Data

Seluruh foto bawah air yang diperoleh dari lapangan dianalisis menggunakan perangkat lunak *Coral Point Count with Excel extensions* (CPCe) (Kohler and Gill, 2006). Analisis dilakukan dengan mengklasifikasikan kategori bentik hingga tingkat *lifeform* karang dan substrat lainnya. Hasil analisis dari seluruh foto kemudian

dirata-ratakan untuk memperoleh nilai persentase tutupan kategori bentik pada lokasi penelitian dengan rumus sebagai berikut (Isdianto *et al.*, 2023)*et al*:

$$\text{Persentasi tutupan kategori} = \frac{\text{Jumlah titik kategori}}{\text{banyaknya titik acak}} \times 100\%$$

Status kondisi terumbu karang diklasifikasikan mengacu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 4 Tahun 2001 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Status Terumbu Karang

Parameter	Kriteris Baku Kerusakan Karang (%)		
	Rusak	Buruk	0 – 24,9
Persentase luasan tutupan karang hidup	Baik	Sedang	25 – 49,9
		Baik	50 – 74,9
	Baik Sekali		75 - 100

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup (2001)

Data tutupan bentik yang diperoleh digunakan untuk menghitung indeks keanekaragaman terumbu karang yang meliputi Indeks Keanekaragaman Shannon–Wiener (H') dan Indeks Diversitas Simpson ($1-D$). Perhitungan indeks dilakukan berdasarkan proporsi masing-masing kategori lifeform karang yang ditemukan di sepanjang transek. Nilai indeks tersebut digunakan untuk menggambarkan tingkat keanekaragaman dan struktur komunitas terumbu karang pada lokasi penelitian (Tabugo *et al.*, 2016). Nilai Indeks keanekaragaman dan interpreatsinya ditunjukkan dibawah ini (Odum and Barrett, 2005):

$$H' = \sum P_i \ln P_i$$

Keterangan :

H' : Indeks keanekaragaman

P_i : n_i/N

n_i : Jumlah individu jenis

N : Jumlah individu total

Kriteria :

$H' > 3$: Keanekaragaman tinggi

$1 < H' < 3$: Keanekaragaman sedang

$H' < 1$: Keanekaragam rendah

Nilai Indeks Diversitas beserta kriterianya ditunjukkan di bawah ini (Simpson, 1949) :

$$C = 1 - \sum \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$$

Keterangan :

C : Indeks Diversitas

Kriteria :

$C > 0,5$: Keseragaman tinggi

$C < 0,5$: Keseragaman rendah

HASIL DAN PEMBAHASAN

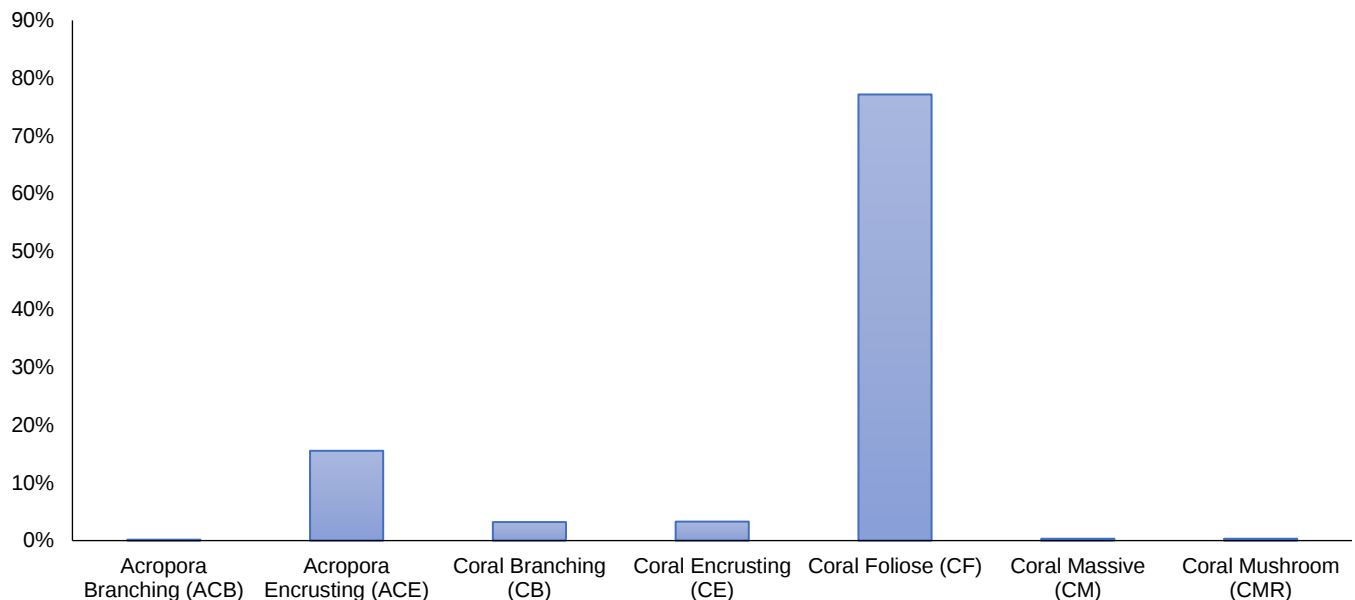
Struktur komunitas bentik merupakan indikator utama dalam menilai kondisi dan kesehatan ekosistem terumbu karang (Davey *et al.*, 2025). Hasil analisis persentase tutupan setiap kategori bentik pada lokasi penelitian disajikan pada Tabel berikut. Tabel 2.

Tabel 2. Persentase tutupan transek

Kategori	%
<i>Coral (HC)</i>	50,16
<i>Recent Dead Coral (DC)</i>	0,00
<i>Dead Coral With Algae (DCA)</i>	0,00
<i>Turf algae (TA)</i>	8,57
<i>Soft Coral (SC)</i>	5,02
<i>Coraline Algae (CA)</i>	2,84
<i>Rubble (R)</i>	22,28
<i>Sand (S)</i>	7,40
<i>Rock (RK)</i>	3,73
	100,00

Berdasarkan Tabel 2, tutupan karang keras (HC) mencapai 50,16% dan karang lunak (SC) 5,02% sehingga total tutupan karang hidup adalah sebesar 55,18%. Nilai ini menunjukkan komunitas karang masih menjadi komponen yang dominan pada lokasi pengamatan. Sementara itu, tidak ditemukannya kategori *recent dead coral* (DC) dan *dead coral with algae* (DCA) mengindikasikan tidak teramati jejak kematian karang yang baru pada setiap sampel foto saat survei dilakukan. Jika mengacu pada kriteria berbasis persentase tutupan karang hidup, maka kondisi masih termasuk dalam kategori yang baik.

Secara ekologi, kombinasi karang hidup relatif tinggi dan tidak ada ditemukannya kategori DC/DCA menunjukkan bahwa lokasi ini masih memiliki struktur bentik yang cukup mendukung fungsi terumbu. Hal tersebut menunjukkan bahwa tidak adanya gangguan fisik dalam periode dekat sebelum pengamatan sehingga secara jangka pendek sistem dapat dikategorikan relatif stabil. Akan tetapi, dengan proporsi *rubble* (22,28%) patut dicermati karena pada umumnya merefleksikan gangguan fisik dan substrat yang tidak stabil. Pada beberapa kasus tentu saja hal ini dapat menghambat penempelan larva serta pemulihan karang (Samudra *et al.*, 2025). Selain itu, keberadaan *turf algae* juga perlu diperhitungkan karena kelompok ini sering berkompetisi langsung dengan karang sehingga dapat memengaruhi dinamika ruang pada permukaan substrat, terutama bila tekanan lingkungan meningkat (Swierts and Vermeij, 2016). Oleh karena itu, kondisi ini perlu dimonitor untuk memastikan arah perubahannya tidak menuju degradasi saat aktivitas pesisir meningkat. Pembagian *lifeform* pada kategori karang keras ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Komposisi *lifeform* pada kategori karang keras

Gambar 2 menunjukkan bahwa *Coral foliose* (CF) mendominasi sebesar 77,18% dari total tutupan karang keras, diikuti oleh *Acropora encrusting* (ACE) sebesar 15,53%. Dominasi bentuk *foliose* umumnya berkaitan dengan kondisi perairan yang relatif cukup akan cahaya matahari, namun memiliki dinamika gelombang atau sedimentasi tertentu. Hal ini karena morfologi lembaran yang mampu memaksimalkan penyerapan cahaya sekaligus lebih adaptif terhadap perubahan lingkungan dibandingkan bentuk bercabang (Veron and Stafford-Smith, 2000; Hadi *et al.*, 2018). Rendahnya proporsi karang bercabang, yaitu *Acropora branching* (ACB) dan *Coral branching* (CB) dapat mengindikasikan bahwa kondisi fisik perairan seperti gelombang tidak sepenuhnya mendukung perkembangan karang memiliki bentuk yang lebih sensitif terhadap patahan fisik (Done, 1992; Hughes *et al.*, 2017). Struktur komunitas yang didominasi bentuk *foliose* dan *encrusting* ini mencerminkan komunitas yang cenderung stabil, namun memiliki kompleksitas struktur yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan *Acropora branching*. Kompleksitas struktur terumbu berkorelasi dengan fungsi ekologis, khususnya sebagai habitat ikan karang dan organisme asosiasi lainnya, seperti menyediakan ruang perlindungan, area mencari makan, serta tempat pemijahan bagi berbagai organisme (Graham and Nash, 2013).

Nilai Indeks Keanekaragaman Shannon–Wiener (H') sebesar 0,94 menunjukkan bahwa tingkat keanekaragaman *lifeform* karang pada lokasi penelitian tergolong rendah. Secara umum, nilai $H' < 1$ sering diinterpretasikan sebagai komunitas dengan keragaman terbatas dan dominasi tinggi oleh satu atau beberapa komponen tertentu (Magurran, 2004). Hal ini sejalan dengan hasil komposisi *lifeform* yang memperlihatkan dominasi kuat oleh *Coral Foliose* (77,18%), yang secara langsung menurunkan nilai keanekaragaman karena distribusi tutupan tidak merata. Dengan kata lain,

meskipun total tutupan karang keras mencapai lebih dari 50%, struktur komunitasnya tidak sepenuhnya seimbang antar *lifeform*, sehingga indeks keanekaragaman mencerminkan adanya dominasi morfologi tertentu.

Hasil dari nilai Indeks Simpson (1–D) adalah sebesar 0,55 yang menunjukkan tingkat diversitas sedang, namun belum menunjukkan komunitas yang sangat kompleks. Indeks Simpson cenderung sensitif terhadap dominasi sehingga nilai yang tidak mendekati 1 memperkuat indikasi bahwa komunitas masih didominasi oleh satu kelompok utama (Roswell *et al.*, 2021). Ketika dikaitkan dengan tingginya proporsi *Coral Foliose* dan relatif rendahnya bentuk bercabang serta masif, hasil ini menunjukkan bahwa terumbu di lokasi penelitian memiliki kondisi tutupan yang cukup baik secara kuantitatif, tetapi dari sisi struktur komunitas belum mencerminkan keragaman morfologi yang tinggi.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa terumbu karang di Perairan Desa Batukaras, Kabupaten Pangandaran, memiliki tutupan karang hidup sebesar 55,18% yang secara umum tergolong dalam kategori baik. Komposisi *lifeform* karang keras didominasi oleh *Coral foliose*, dengan kontribusi terbatas dari bentuk bercabang dan masif. Selain itu, nilai indeks keanekaragaman dan indeks diversitas menghasilkan nilai 0,94 dan 0,55. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun tutupan karang masih cukup baik, struktur komunitas belum sepenuhnya kompleks dan masih didominasi oleh kelompok tertentu. Tidak ditemukannya kategori karang mati terbaru menunjukkan tidak adanya indikasi gangguan parah pada ekosistem terumbu karang saat survei dilakukan. Namun, proporsi *rubble* yang cukup besar tetap menjadi indikator yang perlu diperhatikan dalam konteks dinamika habitat.

DAFTAR PUSTAKA

- Burke, L.Marie. 2011. *Reefs at Risk Revisited*. World Resources Institute.
- Clarke, K.R., and R.M. Warwick. 1994. *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. Plymouth Marine Laboratory.
- Davey, M., C.J. Klein, C. Roelfsema, C.D. Kuempel, and H. Possingham. 2025. A review of the application of coral reef condition indicators in conservation planning. *Ecol. Indic.* 179:114222. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.114222>.
- Done, T.J. 1992. Phase shifts in coral reef communities and their ecological significance. *Hydrobiologia* 247:121–132. <https://doi.org/10.1007/BF00008211>.
- Edinger, E.N., G. V Limmon, J. Jompa, W. Widjtmoko, J.M. Heikoop, and M.J. Risk. 2000. Normal Coral Growth Rates on Dying Reefs: Are Coral Growth Rates Good Indicators of Reef Health? *Mar. Pollut. Bull.* 40:404–425. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00237-4](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00237-4).
- Edinger, E.N., and M.J. Risk. 2000. Reef classification by coral morphology predicts coral reef conservation value. *Biol. Conserv.* 92:1–13. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00067-1](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00067-1).
- English, S., C. Wilkinson, and B. Valor Jane. 1994. *Survey Manual for Tropical Marine Resources (2nd Edition)*. 2nd Edition. Australian Institute of Marine Science.
- Giyanto, A.E.W. Manuputty, M. Abrar, R.M. Siringoringo, S.R. Suharti, K. Wibowo, I.N. Edrus, U.Y. Arbi, H.A.W. Cappenberg, H.F. Sihalo, Y. Tuti, and D. Zulfianita. 2014. *Panduan Monitoring Kesehatan Terumbu Karang: Terumbu Karang, Ikan Karang, Megabenthos, Dan Penulisan Laporan*. Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta.
- Graham, N.A.J., and K.L. Nash. 2013. The importance of structural complexity in coral reef ecosystems. *Coral Reefs* 32:315–326. <https://doi.org/10.1007/s00338-012-0984-y>.
- Hadi, T.A., Y. Tuti, Hadiyanto, M. Abrar, S.R. Suharti, Suharsono, and N.M. Gardiner. 2018. The dynamics of coral reef benthic and reef fish communities in Batam and Natuna Islands, Indonesia. *Biodiversity* 1–14. <https://doi.org/10.1080/14888386.2018.1473797>.
- Hartati, S.T., and A. Rahman. 2016. Kesehatan terumbu karang dan struktur komunitas ikan di perairan pantai Pangandaran, Jawa Barat. *BAWAL Widya Riset Perikanan Tangkap* 8:37. <https://doi.org/10.15578/bawal.8.1.2016.37-48>.
- Hawkins, J.P., and C.M. Roberts. 1992. Effects of recreational SCUBA diving on fore-reef slope communities of coral reefs. *Biol. Conserv.* 62:171–178. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(92\)91045-T](https://doi.org/10.1016/0006-3207(92)91045-T).
- Hoegh-Guldberg, O., E.S. Poloczanska, W. Skirving, and S. Dove. 2017. Coral Reef Ecosystems under Climate Change and Ocean Acidification. *Front. Mar. Sci.* 4. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00158>.
- Hughes, T.P., J.T. Kerry, M. Álvarez-Noriega, J.G. Álvarez-Romero, K.D. Anderson, A.H. Baird, R.C. Babcock, M. Beger, D.R. Bellwood, R. Berkelmans, T.C. Bridge, I.R. Butler, M. Byrne, N.E. Cantin, S. Comeau, S.R. Connolly, G.S. Cumming, S.J. Dalton, G. Diaz-Pulido, C.M. Eakin, W.F. Figueira, J.P. Gilmour, H.B. Harrison, S.F. Heron, A.S. Hoey, J.-P.A. Hobbs, M.O. Hoogenboom, E. V. Kennedy, C. Kuo, J.M. Lough, R.J. Lowe, G. Liu, M.T. McCulloch, H.A. Malcolm, M.J. McWilliam, J.M. Pandolfi, R.J. Pears, M.S. Pratchett, V. Schoepf, T. Simpson, W.J. Skirving, B. Sommer, G. Torda, D.R. Wachenfeld, B.L. Willis, and S.K. Wilson. 2017. Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature* 543:373–377. <https://doi.org/10.1038/nature21707>.
- Isdianto, A., A. Kurniawan, A.D. Wicaksono, Q.N.I. Marhaendra, B.M. Putri, A.L. Fathah, M.A. Asadi, O.M. Luthfi, D.C. Pratiwi, and N. Harahab. 2023. Observation of Coral Reef and Macroalgae Competition in the Sempu Strait, Malang. *Journal of Ecological Engineering* 24:174–184. <https://doi.org/10.12911/22998993/170246>.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2001. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 4 Tahun 2001: Kriteria Baku Kerusakan Terumbu Karang.
- Kohler, K.E., and S.M. Gill. 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Comput. Geosci.* 32:1259–1269. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.11.009>.
- Madduppa, H.H., B. Subhan, D. Arafat, and N.P. Zamani. 2017. Riset dan Inovasi Terumbu Karang dan Proses Pemilihan Teknik Rehabilitasi: Sebuah Usulan Menghadapi Gangguan Alami dan Antropogenik Kasus di Kepulauan Seribu. *RISALAH KEBIJAKAN PERTANIAN DAN LINGKUNGAN: Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian dan Lingkungan* 3:45. <https://doi.org/10.20957/jkebijakan.v3i2.15513>.
- Moberg, F., and C. Folke. 1999. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics* 29:215–233. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00009-9).
- Obura, D.O., G. Aeby, N. Amornthammarong, W. Appeltans, N. Bax, J. Bishop, R.E. Brainard, S. Chan, P. Fletcher, T.A.C. Gordon, L. Gramer, M. Gudka, J. Halas, J. Hendee, G. Hodgson, D. Huang, M. Jankulak, A. Jones, T. Kimura, J. Levy, P. Miloslavich, L.M. Chou, F. Muller-Karger, K. Osuka, M. Samoilys, S.D. Simpson, K. Tun, and S. Wongbusarakum. 2019. Coral Reef Monitoring, Reef Assessment Technologies, and Ecosystem-Based Management. *Front. Mar. Sci.* 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00580>.
- Odum, E.P., and G.W. Barrett. 2005. *Fundamentals of Ecology*. Thomson Brooks/Cole.
- Rizqiyanto, S., and D.R. Mausili. 2025. Kepatuhan Pemerintah Daerah terhadap Blue Economy Development Framework di Kabupaten Majene, Sulawesi Barat. *Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan* 20:109–123.
- Roswell, M., J. Dushoff, and R. Winfree. 2021. A conceptual guide to measuring species diversity. *Oikos* 130:321–338. <https://doi.org/10.1111/oik.07202>.
- Samudra, S.H., T.M. Kenyon, C.A.G. Alisa, R.T. Vida, D.G. Bengen, and T.B. Razak. 2025. Prolonged instability in blast-fished rubble beds impedes coral recovery. *Mar. Environ. Res.* 212:107479. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2025.107479>.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of Diversity. *Nature* 163:688–688. <https://doi.org/10.1038/163688a0>.
- Spalding, M., L. Burke, S.A. Wood, J. Ashpole, J. Hutchison, and P. zu Ermgassen. 2017. Mapping the global value and distribution of coral reef tourism. *Mar. Policy* 82:104–113. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.014>.

- Swierts, T., and M.J. Vermeij. 2016. Competitive interactions between corals and turf algae depend on coral colony form. *PeerJ* 4:e1984. <https://doi.org/10.7717/peerj.1984>.
- Tabugo, S.R.M., D.L. Manzanares, and A.D. Malawani. 2016. Coral reef assessment and monitoring made easy using Coral Point Count with Excel extensions (CPCe) software in Calangahan, Lugait, Misamis Oriental, Philippines. *Computational Ecology and Software* 6:21–30.
- Veron, J.E.N., and Mary. Stafford-Smith. 2000. *Corals of the World*. Australian Institute of Marine Science.
- Zamani, N.P., and H.H. Madduppa. 2011. A Standard Criteria for Assesing the Health of Coral Reefs: Implication for Management and Conservation. *Journal of Indonesia Coral Reefs* 1:137–146.