

Systematic Literature Review: Perbedaan Penggunaan Unit Indikator Dalam Menentukan Resiliensi Ekosistem Terumbu Karang

Muhammad Fahrul Barcinta^{1*}, Zurnida Haulussy², Fahrul Rozy Fakaubun¹

¹ Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia, 97233

² Program Pascasarjana Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia, 97233

* Korespondensi: muhammadfarcinta@gmail.com

Received: 15 May 2026

Revised: 12 June 2026

Accepted: 17 June 2026

Citation:

Barcinta, M. F. ., Haulussy, Z. ., & Fakaubun, F. R. . (2026). Systematic Literature Review: Perbedaan Penggunaan Unit Indikator Dalam Menentukan Resiliensi Ekosistem Terumbu Karang : Systematic Literature Review: Variations in Indicator Units for Assessing Coral Reef Ecosystem Resilience. *Qomaruna: Journal of Multidisciplinary Studies*, 3(2), 241–253. <https://doi.org/10.62048/qjms.v3i2.168>



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

ABSTRACT

Coastal areas are dynamic social–ecological systems that are highly vulnerable to global and local environmental pressures, requiring resilience-based management, particularly for coral reef ecosystems. This study aims to identify and synthesize resilience indicators and methodological approaches using a Systematic Literature Review (SLR). Data were collected from Scopus and Google Scholar via Publish or Perish, yielding 172 initial articles, which were filtered down to 10 relevant studies. The results show that core ecological indicators—live coral cover, herbivore biomass, juvenile recruitment, macroalgae cover, and structural complexity—are consistently used as primary determinants of resilience. Anthropogenic pressures and socio-economic conditions also influence adaptive capacity but do not replace biophysical factors. However, variations in measurement methods, normalization, and indicator weighting limit cross-study comparability. Therefore, a standardized, transparent, and comparable assessment framework is needed. In conclusion, standardizing indicators and methods is essential to improve assessment reliability and support sustainable coral reef management and conservation.

Keywords: coral reef, indicators, resilience, systematic literature review (SLR).

ABSTRAK

Wilayah pesisir merupakan sistem sosial–ekologi yang dinamis dan rentan terhadap tekanan lingkungan global maupun lokal, sehingga memerlukan pendekatan pengelolaan berbasis resiliensi, khususnya pada ekosistem terumbu karang. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi dan mensintesis indikator serta pendekatan metodologis dalam penilaian resiliensi terumbu karang melalui metode *Systematic Literature Review* (SLR). Data diperoleh dari Scopus dan Google Scholar menggunakan *Publish or Perish* (PoP), menghasilkan 172 artikel awal yang diseleksi hingga tersisa 10 artikel relevan. Hasil menunjukkan bahwa indikator ekologis inti seperti tutupan karang hidup, biomassa herbivor, rekrutmen juvenil, tutupan makroalga, dan kompleksitas struktural digunakan secara konsisten sebagai penentu utama resiliensi. Tekanan antropogenik dan kondisi sosial-ekonomi turut memengaruhi kapasitas adaptif, namun tidak menggantikan peran kondisi

biofisik. Variasi metode pengukuran, normalisasi, dan pembobotan indikator menjadi kendala dalam perbandingan antar studi. Oleh karena itu, diperlukan kerangka penilaian resiliensi yang terstandar, transparan, dan komparatif. Kesimpulannya, standarisasi indikator dan metode merupakan langkah penting untuk meningkatkan keakuratan penilaian serta mendukung pengelolaan dan konservasi terumbu karang secara berkelanjutan.

Kata kunci: indikator, resiliensi, systematic literature review (SLR), terumbu karang.

Pendahuluan

Wilayah pesisir merupakan kawasan dengan dinamika lingkungan yang sangat tinggi karena menjadi titik interaksi antara proses daratan dan lautan sekaligus pusat aktivitas manusia yang intens. Tekanan terhadap kawasan ini semakin meningkat akibat perubahan iklim, kenaikan suhu permukaan laut, peningkatan frekuensi badai, serta degradasi habitat akibat aktivitas pesisir (Hukubun et al., 2025). Laporan Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001) menunjukkan bahwa hampir dua pertiga kejadian bencana global terjadi di wilayah pesisir, menegaskan tingkat kerentanan yang tinggi terhadap gangguan eksternal. Di negara kepulauan seperti Indonesia, tekanan tersebut semakin kompleks seiring pertumbuhan penduduk pesisir, pembangunan infrastruktur maritim, serta eksploitasi sumber daya alam yang sering kali melampaui kapasitas ekologis. Kondisi ini menuntut pemahaman yang komprehensif terhadap dinamika sistem pesisir, tidak hanya untuk menjaga integritas ekologis, tetapi juga untuk menjamin keberlanjutan sosial-ekonomi masyarakat yang bergantung pada ekosistem tersebut.

Salah satu komponen utama ekosistem pesisir adalah terumbu karang, yaitu ekosistem benthik yang dibangun oleh koloni karang hermatipik penghasil kalsium karbonat dan berkembang terutama di perairan tropis yang dangkal, jernih, serta memiliki intensitas cahaya yang tinggi. Terumbu karang dikenal sebagai salah satu ekosistem paling produktif dan memiliki keanekaragaman hayati tertinggi di dunia karena menyediakan habitat, daerah pemijahan, tempat mencari makan, dan daerah asuhan bagi berbagai organisme laut. Secara ekologis, terumbu karang berfungsi sebagai pelindung alami pantai dari energi gelombang dan abrasi, sementara secara sosial-ekonomi berperan sebagai sumber perikanan, pariwisata, dan mata pencaharian masyarakat pesisir (Barcinta et al., 2023a). Berdasarkan bentuk geomorfologinya, terumbu karang umumnya diklasifikasikan menjadi terumbu tepi (*fringing reef*), terumbu penghalang (*barrier reef*), dan atol, yang masing-masing memiliki karakteristik ekologis serta respons yang berbeda terhadap tekanan lingkungan. Kompleksitas struktur, tingginya biodiversitas, serta ketergantungan masyarakat terhadap jasa ekosistem yang dihasilkannya menjadikan terumbu karang sebagai salah satu ekosistem yang sangat penting sekaligus rentan terhadap perubahan lingkungan.

Dalam perspektif sistem sosial-ekologi, terumbu karang tidak hanya dipengaruhi oleh faktor biofisik, tetapi juga oleh interaksi antara aktivitas manusia, kelembagaan, dan dinamika lingkungan. Sistem pesisir dipahami sebagai sistem sosial-ekologi yang terbentuk dari interaksi antara komponen biofisik, sosial, dan kelembagaan, dengan karakteristik ketidakpastian tinggi, dinamika nonlinier, serta interaksi lintas skala (Folke et al., 2004). Dalam konteks tersebut, keberlanjutan terumbu karang sangat dipengaruhi oleh kemampuannya merespons berbagai gangguan. Namun, menurut Barcinta et al. (2023b), terumbu karang merupakan ekosistem yang sangat rentan terhadap tekanan seperti pemutihan akibat stres termal, sedimentasi, pencemaran, penangkapan ikan berlebih, serta berbagai dampak perubahan iklim global. Kerentanan tersebut menyebabkan terumbu karang menjadi salah satu ekosistem yang paling banyak dikaji dalam perspektif resiliensi.

Secara konseptual, resiliensi merujuk pada kemampuan suatu sistem untuk menyerap gangguan, beradaptasi, dan tetap mempertahankan struktur serta fungsi dasarnya. Holling (2001) mendefinisikan resiliensi sebagai kapasitas sistem untuk menyerap perubahan tanpa mengalami pergeseran menuju kondisi alternatif yang berbeda, sedangkan Holling dan Gunderson (2002)

menekankan pentingnya siklus adaptif dan interaksi lintas skala dalam mempertahankan keberlanjutan sistem. Adger et al. (2005) kemudian memperluas konsep tersebut dengan memasukkan dimensi sosial seperti kapasitas adaptif masyarakat, modal sosial, dan kelembagaan. Oleh karena itu, dalam konteks terumbu karang, resiliensi tidak hanya mencerminkan kemampuan ekosistem untuk pulih dari gangguan ekologis, tetapi juga kemampuan sistem sosial yang terkait untuk beradaptasi terhadap perubahan lingkungan.

Berbagai penelitian telah mengembangkan pendekatan untuk menilai resiliensi terumbu karang. Maynard et al. (2015) mengembangkan kerangka penilaian berbasis indikator ekologis seperti tutupan karang, biomassa herbivor, variabilitas suhu, dan konektivitas larva sebagai faktor penting dalam proses pemulihan ekosistem. Holbrook et al. (2016) menunjukkan bahwa herbivori memiliki peran krusial dalam menjaga keseimbangan antara dominasi karang dan makroalga sehingga menjadi indikator penting dalam menilai stabilitas ekosistem. Thompson et al. (2020) memperkenalkan Coral Index sebagai alat sintesis untuk merangkum kondisi resiliensi berdasarkan data monitoring jangka panjang. Di Indonesia, Kusumo et al. (2019) dan Suryono et al. (2022) menekankan pentingnya integrasi indikator sosial-ekologis seperti ketergantungan masyarakat terhadap sumber daya pesisir, kondisi ekonomi, dan kapasitas pengelolaan dalam penilaian resiliensi. Sementara itu, Gudka et al. (2024) melalui kajian global menemukan adanya variasi yang cukup besar dalam pemilihan indikator, metode normalisasi, teknik pembobotan, serta pendekatan analisis yang digunakan dalam berbagai penelitian. Meskipun demikian, sebagian besar studi menunjukkan konsistensi pada penggunaan indikator ekologis inti seperti tutupan karang hidup, biomassa ikan herbivor, rekrutmen karang, dan tutupan makroalga.

Perkembangan penelitian tersebut menunjukkan bahwa penilaian resiliensi telah menjadi instrumen penting dalam mendukung pengelolaan dan konservasi terumbu karang. Namun demikian, masih terdapat kesenjangan penelitian yang signifikan. Pertama, belum adanya standar indikator resiliensi yang disepakati secara luas menyebabkan hasil penelitian sulit dibandingkan antarwilayah. Kedua, variasi metode pengukuran seperti Line Intercept Transect (LIT), Underwater Visual Census (UVC), dan fotogrametri menghasilkan data yang tidak selalu kompatibel. Ketiga, integrasi aspek sosial dalam penilaian resiliensi masih belum memiliki kerangka yang konsisten dan terukur. Keempat, sebagian besar studi belum secara eksplisit melaporkan ketidakpastian data maupun validasi indikator sehingga berpotensi mengurangi keandalan hasil penilaian.

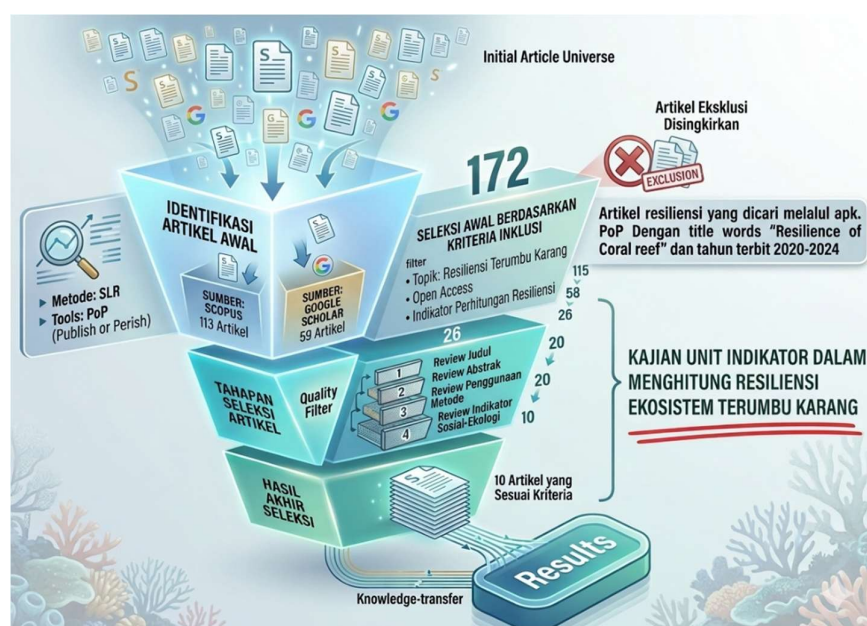
Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan sintesis yang sistematis terhadap indikator dan pendekatan metodologis yang digunakan dalam penilaian resiliensi terumbu karang. Novelty penelitian ini terletak pada upaya mengidentifikasi pola penggunaan indikator resiliensi dari berbagai studi, mengevaluasi pendekatan metodologis yang digunakan, serta merumuskan kebutuhan pengembangan kerangka penilaian yang lebih terstandar, komparatif, transparan, dan adaptif terhadap berbagai kondisi lokal. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya merangkum perkembangan pengetahuan yang telah ada, tetapi juga memberikan dasar konseptual dan metodologis bagi pengembangan sistem penilaian resiliensi yang lebih andal.

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana variasi indikator dan metode yang digunakan dalam penilaian resiliensi terumbu karang, serta bagaimana merumuskan kerangka penilaian yang lebih terstandar dan dapat dibandingkan lintas lokasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi indikator resiliensi yang digunakan dalam berbagai studi, mengevaluasi pendekatan metodologis yang diterapkan, serta merumuskan kebutuhan pengembangan kerangka penilaian resiliensi yang lebih komprehensif dan andal. Secara keilmuan, penelitian ini berkontribusi dalam memperkuat basis konseptual dan metodologis terkait penilaian resiliensi terumbu karang. Secara praktis, hasil penelitian diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan dan konservasi ekosistem pesisir, khususnya dalam penentuan prioritas kawasan dan strategi adaptasi terhadap tekanan lingkungan.

Metode

Penelitian ini menerapkan metode *Systematic Literature Review* (SLR), yaitu suatu pendekatan terstruktur yang digunakan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis hasil penelitian secara sistematis serta dapat direplikasi (Kitchenham & Charters, 2007). Metode ini dipilih guna memperoleh pemahaman yang komprehensif terkait perkembangan penelitian pada topik yang dikaji, sekaligus mengidentifikasi kesenjangan maupun ketidakkonsistenan dalam temuan studi sebelumnya.

Proses penelusuran dan seleksi literatur dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Publish or Perish* (PoP), yang mengolah data citasi dari berbagai basis data ilmiah. Dalam penelitian ini, sumber data utama yang digunakan adalah Scopus dan Google Scholar. Tahapan seleksi literatur mengikuti prosedur SLR yang meliputi identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, dan inklusi. Berdasarkan proses tersebut (Gambar 1), diperoleh 10 artikel yang memenuhi kriteria inklusi, yang terdiri atas sembilan artikel internasional dan satu artikel nasional. Kesepuluh artikel tersebut disajikan pada Tabel 1 di bawah ini.



Gambar 1. Prisma literatur yang dihasilkan dari setiap proses.

Proses SLR dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap dan sistematis untuk memastikan kualitas serta relevansi literatur yang digunakan (Okoli, C, 2015). Tahapan tersebut diawali dengan pengumpulan artikel dari dua basis data utama, yaitu Scopus dan Google Scholar, yang menghasilkan total 172 artikel awal melalui pencarian judul dengan keyword "*resilience of coral reef*" pada aplikasi PoP. Selanjutnya, dilakukan proses seleksi dan penyaringan literatur melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Identifikasi awal: 172 artikel yang ditemukan, terdiri atas 113 artikel dari Scopus dan 59 artikel dari Google Scholar.
2. Seleksi awal (berdasarkan kriteria inklusi): Sebanyak 115 artikel dinyatakan memenuhi kriteria, sementara 57 artikel dieliminasi karena tidak relevan dengan topik resiliensi terumbu karang, tidak bersifat open access, atau tidak memuat indikator resiliensi.
3. Penyaringan lanjutan (judul dan abstrak): Dilakukan evaluasi terhadap judul, abstrak, dan relevansi umum penelitian, yang mengakibatkan eliminasi 58 artikel.
4. Evaluasi indikator dan metode penelitian: Pada tahap ini, kesesuaian indikator dan metode yang digunakan dalam penelitian ditelaah, sehingga 26 artikel dieliminasi.

5. Seleksi akhir (penilaian kelayakan mendalam): Dilakukan penilaian lebih komprehensif terhadap kualitas metode dan penerapan indikator, yang mengeliminasi 21 artikel tambahan.

Melalui rangkaian tahapan tersebut, diperoleh 10 artikel yang memenuhi seluruh kriteria kelayakan dan relevansi. Artikel-artikel inilah yang kemudian digunakan sebagai dasar analisis dalam kajian SLR mengenai indikator resiliensi ekosistem terumbu karang.

Tabel 1. Daftar Jurnal yang direview dalam Kajian Literatur.

No	Penulis	Judul Artikel	Lokasi	Tujuan Penelitian
1	Maynard, J. A., <i>et al.</i> (2015)	Assessing Relative Resilience Potential of Coral Reefs to Inform Management	CNMI (Saipan, Tinian, Rota)	Menilai potensi resiliensi ekologis relatif di 78 situs dan integrasi konektivitas larva
2	Holbrook <i>et al.</i> 2016	Coral Reef Resilience, Tipping Points and the Strength of Herbivory	Moorea, French Polynesia	Mengidentifikasi tipping point herbivori-makroalga dan ambang resiliensi ekosistem
3	Kusumo, S., <i>et al.</i> (2019)	Indeks Resiliensi Terumbu Karang dengan Pendekatan Sosial-Ekologi	Pulo Selayar	Menilai indeks resiliensi sosial-ekologis
4	Thompson, A., <i>et al.</i> (2020)	Development of the Coral Index: A Great Barrier Reef Summary of Coral Reef Resilience as a Reef Guide for Management	Barrier	Mengembangkan Coral Index sebagai ringkasan resiliensi komunitas
5	Hattam, C., <i>et al.</i> (2020)	Building resilience in practice to support coral communities in the Western Indian Ocean	Western Indian Ocean	Menilai efektivitas strategi pembangunan resiliensi sosial-ekologis
6	Suryono, S., <i>et al.</i> (2022)	Socio-ecological resilience of marginal coral reefs in Java Sea, Indonesia	Panjang Jawa Island	Menilai resiliensi sosial-ekologis terumbu marginal
7	Bintoro, G, <i>et al.</i> (2023)	Reef fish monitoring as a coral reef resilience indicator in the Sempu Strait, South of East Java, Indonesia	Selat Sempu, Jawa Timur	Menggunakan ikan terumbu sebagai indikator resiliensi
8	Sangaji, M., <i>et al.</i> (2024)	Sustainable Management of Coral Reef Based on Ecology-Social Resilience Level in Kotania Bay, Indonesia	Teluk Maluku Kotania Bay, Indonesia	Menilai resiliensi sosio-ekologis dan proyeksi 25 tahun
9	Gudka, M., <i>et al.</i> (2024)	Strengthening resilience potential assessments for coral reef management	Global (68 studi)	Mengevaluasi desain dan performa indikator resiliensi
10	Ganase, A., <i>et al.</i> (2024)	The relative resilience potential of Tobago's coral reefs in the Southern Caribbean	Tobago's Southern Caribbean	Menilai potensi resiliensi relatif dan kerentanan bleaching

Hasil dan Pembahasan

Analisis terhadap sepuluh artikel yang dikaji menunjukkan bahwa penilaian resiliensi terumbu karang pada berbagai wilayah tropis menampilkan pola indikator yang relatif konsisten, meskipun terdapat variasi dalam metode pengukuran dan pendekatan analitis. Secara umum, kajian-kajian tersebut menggunakan indikator ekologis inti seperti tutupan karang, biomassa ikan herbivor, rekrutmen, tutupan makroalga, dan kompleksitas struktural atau rugositas sebagai parameter utama untuk menilai kondisi resistansi dan kapasitas pemulihan ekosistem. Indikator ini muncul hampir pada semua studi yang berbasis survei lapangan, baik pada skala lokal maupun regional.

Tabel 2. Metodologis dan indikator resiliensi dari 10 artikel yang dianalisis.

No	Referensi	Metode	Indikator Resiliensi
1	Maynard <i>et al.</i> 2015	Survei bentuk, normalisasi skor, analisis konektivitas	<i>Bleaching resistance, temperature variability, coral diversity, coral recruitment, macroalgae, herbivore biomass, disease, nutrients, sedimentation, fishing pressure</i>
2	Holbrook <i>et al.</i> 2016	Eksperimen multi-tahun, caging, LTER time series	<i>Herbivore biomass, algal development, substrate complexity, benthic cover, grazing intensity</i>
3	Kusumo <i>et al.</i> 2019	Survei benthos, survei sosial, indeks komposit	<i>Coral cover, algae cover, rubble/sand, fish biomass, cyanide fishing effort, fisher income</i>
4	Thompson <i>et al.</i> 2020	Monitoring jangka panjang, normalisasi, bootstrapping	<i>Coral cover, juvenile density, macroalgae, community composition</i>

No	Referensi	Metode	Indikator Resiliensi
5	Hattam <i>et al.</i> 2020	Review literatur, <i>expert elicitation</i>	Kesehatan ekosistem, kesejahteraan masyarakat, kapasitas tata kelola
6	Suryono <i>et al.</i> 2022	<i>Line Intercept Transect (LIT)</i> , <i>Coral cover</i> , <i>recruitment</i> , <i>Total Suspended Solids (TSS)</i> , <i>Sea Underwater Video Transect</i> , <i>Surface Temperature (SST)</i> , <i>fish biomass</i> , <i>fish diversity</i> , <i>socio-sosial</i> , <i>cultural</i> , <i>socio-economic</i>	
7	Bintoro <i>et al.</i> 2023	<i>Underwater Visual Census</i> , <i>Reef fish abundance</i> , <i>fish groups</i> , <i>coral cover (UVC) berkala</i> , <i>photo transect</i>	
8	Sangaji <i>et al.</i> 2024	LIT, survei sosial, <i>spatial dynamic model</i>	9 indikator ekologi dan 9 indikator sosial (<i>juvenile herbivory</i> , <i>water quality</i> , <i>livelihoods</i> , <i>governance</i>)
9	Gudka <i>et al.</i> 2024	<i>Systematic review</i> , evaluasi komparatif	<i>Coral cover</i> , <i>recruitment</i> , <i>herbivory</i> , <i>competition</i> , <i>reef structure</i>
10	Ganase <i>et al.</i> 2024	Monitoring benthos & ikan, fotogrametri	<i>Coral cover</i> , <i>coral diversity</i> , <i>recruitment</i> , <i>disease</i> , <i>herbivore biomass</i> , <i>algae</i> , <i>3D complexity</i> , <i>Coral Disturbance Index (CDI)</i>

Beberapa artikel, seperti Maynard *et al.* (2015) dan Ganase *et al.* (2024), menunjukkan bahwa perbedaan spasial dalam resiliensi terutama dipengaruhi oleh kombinasi faktor ekologis dan tekanan antropogenik. Lokasi dengan tekanan pesisir rendah, biomassa herbivor yang memadai, dan rugositas tinggi cenderung menunjukkan nilai resiliensi yang lebih baik. Sebaliknya, lokasi yang berada dekat pemukiman, terpapar sedimentasi tinggi, atau mengalami intensitas penangkapan ikan yang berat memperlihatkan tingkat resiliensi yang relatif rendah. Temuan ini sejalan dengan hasil Suryono *et al.* (2022) dan Kusumo *et al.* (2019) di Indonesia, yang menunjukkan bahwa tekanan antropogenik baik melalui polusi maupun praktik penangkapan merusak secara langsung menurunkan kapasitas ekosistem untuk pulih dari gangguan.

Studi Holbrook *et al.* (2016) memberikan perspektif eksperimental mengenai dinamika tipping point antara herbivori dan dominasi makroalga, yang secara teoretis memperkuat kesimpulan bahwa biomassa herbivor merupakan salah satu determinan paling penting dalam mempertahankan stabilitas ekosistem karang. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa ambang stabilitas ekosistem dapat dipertahankan jika tingkat herbivori tidak turun di bawah kisaran 10–15%, mengisyaratkan bahwa hilangnya kontrol herbivori menjadi pemicu utama perubahan fase menuju dominasi alga. Temuan empiris semacam ini melengkapi studi pemantauan lapangan misalnya oleh Bintoro *et al.* (2023), yang juga menunjukkan bahwa penurunan kelimpahan ikan secara langsung berkaitan dengan berkurangnya tutupan karang dan menurunnya fungsi ekosistem karena terumbu karang akan kalah dalam kompetisi ruang dengan alga yang tidak dimangsa ikan herbivor.

Di lain sisi, kajian yang memasukkan dimensi sosial-ekologis, seperti Sangaji *et al.* (2024) dan Kusumo *et al.* (2019), menunjukkan bahwa resiliensi sosial dapat berperan sebagai faktor pendukung tetapi tidak menggantikan penurunan resiliensi ekologis. Artinya, meskipun masyarakat memiliki kapasitas adaptif yang baik, kondisi biofisik yang terdegradasi tetap menjadi pembatas utama bagi keberlanjutan ekosistem. Dengan demikian, integrasi kedua dimensi harus dilakukan secara seimbang dan proporsional, terutama pada wilayah dengan tekanan intensif seperti pesisir padat penduduk.

Kajian tingkat regional dan global (Hattam *et al.* 2020; Gudka *et al.* 2024) menyoroti kelemahan metodologis yang umum ditemukan pada sebagian besar penilaian resiliensi. Masalah utama meliputi pemilihan indikator yang tidak selalu berbasis kerangka teoritis yang kuat, penggunaan normalisasi nilai yang berbasis pada dataset internal sehingga membatasi perbandingan lintas wilayah, serta kurangnya kajian yang membahas terkait kesenjangan penggunaan indikator dan pembobotan indikator antar penelitian membuat penelitian terkait resiliensi terumbu karang ini cenderung subjektif. Sehingga hal tersebut menegaskan bahwa, diperlukan pendekatan yang lebih sistematis, transparan dan berbasis pemahaman ahli dalam memilih, membototi, serta mengagregasi indikator untuk

menghasilkan penilaian resiliensi yang komparatif, dapat dipertanggungjawabkan dan dapat direplikasi pada berbagai penelitian terkait penilaian resiliensi terumbu karang.

Hasil SLR secara keseluruhan menunjukkan bahwa keakuratan penilaian resiliensi bergantung pada kejelasan pemilihan indikator, konsistensi metodologi, dan kemampuannya untuk menangkap dinamika ekologis dan sosial secara bersamaan. Meskipun studi-studi yang dianalisis menampilkan heterogenitas dalam ruang lingkup dan metodologi, tetapi pola indikator inti relatif seragam, hal ini mengindikasikan adanya peluang untuk standardisasi kerangka indikator resiliensi yang dapat diterapkan lintas lokasi. Standardisasi semacam ini akan memudahkan perbandingan antarwilayah, memperkuat dasar pengambilan keputusan, dan meningkatkan akurasi prediksi terhadap dinamika jangka panjang ekosistem terumbu karang di masa mendatang.

Rumusan Pengembangan Kerangka Pengukuran Resiliensi

Berdasarkan hasil review terhadap sepuluh artikel yang dianalisis dalam kajian SLR ini, teridentifikasi sejumlah kebutuhan metodologis dan konseptual yang perlu dipenuhi untuk mengembangkan kerangka penilaian resiliensi terumbu karang yang lebih komparatif dan andal. Kebutuhan-kebutuhan ini muncul dari pola ketidakkonsistenan dalam pemilihan indikator, variasi metode pengukuran, perbedaan teknik normalisasi, serta heterogenitas integrasi aspek sosial dan ekologis pada masing-masing studi. Tabel berikut merangkum temuan utama tersebut dan menyajikan hubungan antara kebutuhan yang diidentifikasi dengan dasar empiris dari sepuluh artikel yang direview, sehingga memberikan landasan yang lebih kuat bagi penyusunan kerangka penilaian resiliensi yang terstandar dan dapat diterapkan lintas lokasi.

Tabel 3. Rumusan pengembangan kerangka pengukuran resiliensi

No	Rumusan Pengembangan Kerangka	Penjelasan Rumusan
1	Standarisasi indikator resiliensi	Inti Indikator seperti tutupan karang hidup, biomassa herbivor, rekrutmen juvenil, tutupan makroalga, dan kompleksitas struktural secara konsisten digunakan dan memiliki sensitivitas tinggi dalam merepresentasikan kondisi resistansi dan kapasitas pemulihan ekosistem; indikator tersebut perlu ditetapkan sebagai indikator inti.
2	Definisi operasional protokol pengukuran terstandar	dan Variasi teknik pengukuran (misalnya Line Intercept Transect, yang fotogrametri, dan Underwater Visual Census) menghasilkan perbedaan resolusi dan akurasi data; diperlukan harmonisasi definisi operasional dan prosedur pengukuran untuk meningkatkan konsistensi antar studi.
3	Metode normalisasi pembobotan indikator transparan	dan Penggunaan normalisasi berbasis rentang internal dan pembobotan yang subjektif mengurangi keterbandingan hasil; diperlukan pendekatan normalisasi berbasis ambang ekologis serta pembobotan berbasis analisis statistik atau expert judgement yang terdokumentasi.
4	Integrasi indikator ekologis yang terukur	sosial- Indikator sosial seperti ketergantungan mata pencaharian, praktik pemanfaatan sumber daya, dan efektivitas tata kelola perlu dirumuskan dalam parameter yang terukur dan relevan terhadap dinamika resiliensi ekosistem.
5	Penetapan ambang ekologis (ecological thresholds)	batas Studi eksperimental menunjukkan adanya ambang kritis herbivori dalam mengendalikan dominasi makroalga; diperlukan pengujian lintas lokasi untuk menetapkan ambang batas operasional yang dapat digunakan dalam evaluasi resiliensi.
6	Penentuan skala ruang-waktu dan frekuensi monitoring	Data jangka panjang memberikan representasi yang lebih akurat terhadap dinamika ekosistem dibandingkan pengamatan sesaat; diperlukan standar minimal durasi dan frekuensi monitoring untuk menangkap variabilitas temporal.

No	Rumusan Pengembangan Kerangka	Penjelasan Rumusan
7	Pelaporan ketidakpastian dan validasi indikator	Minimnya pelaporan interval kepercayaan, analisis sensitivitas, dan uji validasi menyebabkan keterbatasan dalam interpretasi hasil; integrasi analisis ketidakpastian diperlukan untuk meningkatkan validitas penilaian.
8	Penggunaan lokasi referensi (benchmark) untuk normalisasi antar lokasi; penggunaan benchmark eksternal atau kondisi referensi diperlukan untuk meningkatkan komparabilitas lintas wilayah.	Normalisasi berbasis nilai maksimum lokal berpotensi menghasilkan bias
9	Pengembangan kerangka modular (indikator inti dan pelengkap)	Pendekatan berbasis indikator tunggal tidak mampu mengakomodasi heterogenitas kondisi ekosistem; diperlukan kerangka modular yang mengombinasikan indikator inti dengan indikator kontekstual spesifik lokasi.
10	Transparansi dalam seleksi indikator dan metode	Keterbatasan dokumentasi dalam pemilihan indikator dan prosedur analisis menghambat replikasi dan evaluasi kritis; pelaporan metodologi secara rinci menjadi prasyarat dalam penelitian komparatif.
11	Standardisasi format data interoperabilitas	Perbedaan format, resolusi, dan kelengkapan data menghambat integrasi lintas studi; diperlukan standar metadata dan format pelaporan untuk mendukung sintesis dan meta-analisis..
12	Penguatan kapasitas teknis validasi lapangan	Keterbatasan sumber daya dan kapasitas teknis di wilayah tertentu memengaruhi kualitas data; implementasi kerangka perlu disertai pelatihan dan pengujian lapangan untuk memastikan kesesuaian dengan kondisi lokal.

Berdasarkan sintesis yang disajikan pada Tabel 3, pengukuran resiliensi terumbu karang masih menghadapi tantangan utama berupa belum adanya standar yang konsisten, baik dalam aspek metodologi maupun konsep yang digunakan. Kajian terhadap sepuluh artikel menunjukkan adanya perbedaan dalam pemilihan indikator, protokol pengukuran, teknik normalisasi, serta tingkat integrasi antara dimensi sosial dan ekologis. Perbedaan tersebut menyulitkan perbandingan hasil antarpelitian maupun antarwilayah, sehingga hingga saat ini belum tersedia kerangka penilaian resiliensi yang dapat diterapkan secara konsisten dan komparatif.

Hasil kajian juga menunjukkan bahwa penyusunan kerangka pengukuran yang lebih baik perlu diawali dengan penetapan indikator inti yang jelas dan telah teruji secara empiris. Indikator tersebut perlu didukung oleh protokol pengukuran yang seragam, serta metode normalisasi dan pembobotan yang transparan agar hasil penilaian dapat direplikasi dan dibandingkan. Selain itu, indikator sosial dan ekologis perlu diintegrasikan dalam parameter yang operasional sehingga mampu menggambarkan hubungan antara tekanan antropogenik dan respons ekosistem secara lebih utuh. Penetapan ambang batas ekologis yang berbasis bukti, disertai penggunaan lokasi acuan (*benchmark*), juga penting untuk meningkatkan ketepatan interpretasi hasil.

Di sisi lain, beberapa aspek teknis masih jarang dilaporkan, seperti ketidakpastian pengukuran, standardisasi format data, dan dokumentasi metodologi. Padahal, aspek-aspek tersebut sangat penting untuk mendukung sintesis lintas penelitian maupun meta-analisis. Penguatan kapasitas teknis di tingkat lokal serta pengujian kerangka pada berbagai kondisi lapangan juga diperlukan agar kerangka yang dikembangkan tidak hanya kuat secara konseptual, tetapi juga dapat diterapkan dalam praktik. Secara keseluruhan, kerangka pengukuran yang dirumuskan dalam kajian ini memberikan dasar konseptual dan metodologis bagi pengembangan sistem penilaian resiliensi terumbu karang yang lebih terstandar, dapat dibandingkan antarwilayah, dan tetap adaptif terhadap kondisi lokal. Dengan demikian, kerangka ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas evaluasi resiliensi sekaligus mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam pengelolaan dan konservasi terumbu karang.

Kesimpulan

Kajian ini menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian telah menggunakan indikator ekologis yang relatif serupa, seperti tutupan karang, biomassa ikan herbivor, rekrutmen karang, makroalga, dan kompleksitas struktur terumbu. Namun, hasil penilaian masih sulit dibandingkan karena setiap penelitian menggunakan kombinasi indikator, metode pengukuran, teknik normalisasi, dan pembobotan yang berbeda. Dengan kata lain, tantangan utama bukan terletak pada kurangnya indikator, tetapi pada belum adanya kerangka penilaian yang disusun secara konsisten. Meskipun beberapa penelitian telah mulai memasukkan aspek sosial, cara pengukurannya masih beragam dan belum mampu menggambarkan secara utuh hubungan antara kondisi sosial dan perubahan resiliensi ekosistem.

Oleh karena itu, upaya pengembangan penilaian resiliensi terumbu karang sebaiknya difokuskan pada penyusunan kerangka yang lebih terstandar dan mudah diterapkan. Hal ini dapat dilakukan melalui penetapan indikator inti, penggunaan protokol pengukuran yang seragam, penerapan metode normalisasi yang mengacu pada ambang batas ekologis, serta sistem pembobotan yang transparan. Kerangka yang dirumuskan dalam kajian ini diharapkan dapat menjadi acuan untuk meningkatkan konsistensi dan keterbandingan hasil penilaian antarwilayah, sekaligus mendukung pengelolaan dan konservasi terumbu karang yang lebih efektif dengan mempertimbangkan aspek ekologis maupun sosial.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan artikel ini.

Pernyataan Konflik Kepentingan (*Declaration of Conflict of Interest*)

Para penulis menyatakan tidak ada potensi konflik kepentingan terkait dengan penelitian, penulisan, dan/atau publikasi dari artikel ini.

Daftar Pustaka

- Adger, W. N., Hughes, T. P., Folke, C., Carpenter, S. R., & Rockstrom, J. (2005). *Social-ecological resilience to coastal disasters*. *Science*, 309(5737), 1036-1039. <https://doi.org/10.1126/science.1112122>
- Barcinta, M. F., Limmon, G. V., & Sangaji, M. (2023a). Komposisi Jenis Karang Keras (Scleractinia) di Perairan Pantai Utara Pulau Ambon. *Journal Of Coastal And Deep Sea*, 1(2), 1-14. <https://doi.org/10.30598/jcnds.v1i2.11433>
- Barcinta, M. F., Sangaji, M., & Limmon, G. V. (2023b). Conditions Of Scleractinian Coral Cover Percentage On The North Coast Of Ambon Island, Maluku Province. *International Journal of Science and Environment (IJSE)*, 3(4), 138-144. DOI: <https://doi.org/10.51601/ijse.v3i4.81>
- Bintoro G, Isdianto A, Harahab N, Kurniawan A, Wicaksono AD, Maharditha R, Fathah AL, Putri BM, Haykal MF, Asadi MA, Setyanto A, Lelono TD, Luthfi OM, Pratiwi DC. (2023). Reef fish monitoring as a coral reef resilience indicator in the Sempu Strait, South of East Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 24(9): 4950-4959. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240938>
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L., & Holling, C. S. (2004). Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 35(1), 557-581. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711>
- Ganase, A., Laydoo, R., & Pinheiro, H. (2024). *Coral reef resilience and bleaching risk across Tobago's reef systems*. *Coral Reefs*, 43, 511-525. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103456>

- Gudka, M., Obura, D., Trembl, E. A., & Nicholson, E. (2024). Strengthening resilience potential assessments for coral reef management. *Methods in Ecology and Evolution*, 15, 612–627. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.14303>.
- Hattam, C., Evans, L., Morrissey, K., Hooper, T., Young, K., Khalid, F., & Hughes, A. (2020). Building resilience in practice to support coral communities in the Western Indian Ocean. *Environmental Science & Policy*, 106, 182-190. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.02.006>
- Holbrook, S. J., Schmitt, R. J., Adam, T. C., & Brooks, A. J. (2016). Coral reef resilience, tipping points and the strength of herbivory. *Scientific reports*, 6(1), 35817. <https://doi.org/10.1038/srep35817>
- Holling, CS. (2001). Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 4(5), 390-405. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0101-5>
- Holling, CS., & Gunderson LH. (2002). Resilience and adaptive cycles. In Panarchy. Understanding the Transformations in Human and Natural Systems, ed. LH Gunderson, CS Holling, pp. 25–62. Washington, DC: Island Press. <http://hdl.handle.net/10919/67621>
- Hukubun, R., I.V.T. Soukotta, N. A.P.S.B Kaliky, T. Tuasikal, S. Laheng, J. Wasahua, M.F. Barcinta, L.G. Larasati, I.B. Supyan, dan W. Tino. (2025). Potensi sumber daya perikanan di Maluku. Bandung: Widina Media Utama. <https://books.google.co.id/books?id=y22VEOAAQBAJ&lpg=PP1&hl=id&pg=PR2#v=onepage&q&f=false>
- IPCC, (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp. https://www.researchgate.net/publication/216811760_Climate_Change_2001_The_Scientific_Basis#fullTextFileContent
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). *Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*. Keele University, UK.
- Kusumo, S., Adrianto, L., Boer, M., & Suharsono. (2019). Indeks resiliensi terumbu karang dengan pendekatan sistem sosial-ekologi: Studi kasus KKPD Pulo Pasi Gusung, Selayar. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 3(2), 227-235. <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2019.003.02.13>
- Maynard, J. A., McKagan, S., Raymundo, L., Johnson, S., Ahmadia, G. N., Johnston, L., Houk, P., Williams, G. J., Kendall, M., Heron, S. F., van Hooidek, R., McLeod, E., Tracey, D., & Planes, S. (2015). Assessing relative resilience potential of coral reefs to inform management. *PLoS ONE*, 10(7), e0131831. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.09.001>
- Okoli, C. (2015). A Guide to Conducting a Standalone Systematic Literature Review. *Communications of the Association for Information Systems*, 37. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.03743>
- Sangaji, M., Louhenapessy, D. G., Lewerissa, Y. A., Mutmainnah, & Lestari, F. (2024). Sustainable management of coral reef based on ecology-social resilience level in Kotania Bay, Indonesia. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 50(1), 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2024.03.002>
- Suryono, S., Ambariyanto, A., Munasik, M., Wijayanti, D. P. (2022). Socio-ecological resilience of marginal coral reefs in Java Sea Indonesia. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2297906/v1>
- Thompson, A., Martin, K., & Logan, M. (2020). Development of the coral index: A summary of coral reef resilience as a guide for management. *Journal of Environmental Management*, 271, 111038. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111038>

Lampiran

PUBLISH OR PERISH (POP)

Search terms	Source	Papers
resilience of coral reef [title] f...	Google Scholar	58
coral resilience [title] from 20...	Scopus	113

Detail Hasil Pencarian di Publish Or Perish | Google Scholar

resilience of coral reef [title] from 2020 to 2024

*Publish or Perish 8.18.5091.9307 (basic report)
MacOS (AMD/Intel x64) edition, running on Darwin 21.6.0 (x86_64)*

Search terms

Title words: resilience of coral reef

Years: 2020 to 2024

Other options: include citations; include patents; any articles

Data retrieval

Data source: Google Scholar
Search date: 2025-10-25 07:33:40 +0900
Cache date: 2025-10-25 07:33:55 +0900
Search result: [0] No error

Metrics

Reference date: 2025-11-10 07:33:55 +0900
Publication years: 2020-2024
Citation years: 5 (2020-2025)
Papers: 59
Citations: 475
Citations/year: 95.00 (acc1=21, acc2=18, acc5=11, acc10=4, acc20=1)
Citations/paper: 8.19
Citations/author: 171.97
Papers/author: 30.90
Authors/paper: 2.84/3.0/1 (mean/median/mode)
Age-weighted citation rate: 148.92 (sqrt=12.20), 54.10/author
Hirsch h-index: 10 (a=4.75, m=2.00, 410 cites=86.3% coverage)
Egghe g-index: 21 (g/h=2.10, 466 cites=98.1% coverage)
PoP h_{norm}: 7
PoP h_{annual}: 1.40
Fassin hA-index: 7

Detail Hasil Pencarian di Publish Or Perish | Scopus

coral resilience [title] from 2020 to 2024

Publish or Perish 8.18.5091.9307 (basic report)
 MacOS (AMD/Intel x64) edition, running on Darwin 21.6.0 (x86_64)

Search terms

Title words: coral resilience
Years: 2020 to 2024

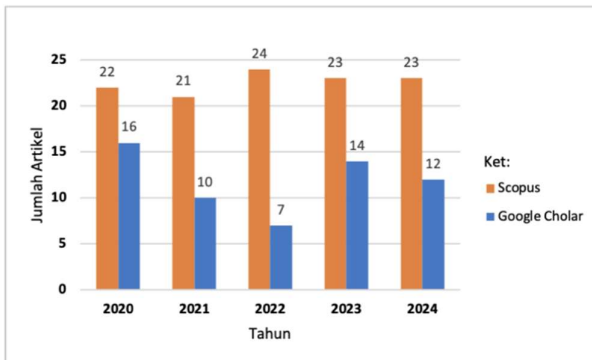
Data retrieval

Data source: Scopus
Search date: 2025-10-25 08:38:19 +0900
Cache date: 2025-10-25 08:38:33 +0900
Search result: [0] No error

Metrics

Reference date: 2025-10-25 08:38:33 +0900
Publication years: 2020-2024
Citation years: 5 (2020-2025)
Papers: 113
Citations: 1555
Citations/year: 311.00 (acc1=91, acc2=74, acc5=40, acc10=13, acc20=3)
Citations/paper: 13.76
Citations/author: 1555.00
Papers/author: 113.00
Authors/paper: 1.00/1.0/1 (mean/median/mode)
Age-weighted citation rate: 531.08 (sqrt=23.05), 531.08/author
Hirsch h-index: 23 (a=2.94, m=4.60, 930 cites=59.8% coverage)
Egghe g-index: 33 (g/h=1.43, 1126 cites=72.4% coverage)
PoP h_{i,norm}: 23
PoP h_{i,annual}: 4.60
Fassin hA-index: 11

Data Artikel



10 ARTIKEL YANG DI REVIEW

