



SISTEM SOSIAL-EKOLOGI PESISIR: KONSEP, TEKATAN, RESILIENSI, DAN PENGELOLAAN ADAPTIF

COASTAL SOCIAL-ECOLOGICAL SYSTEMS: CONCEPTS, PRESSURES, RESILIENCE, AND ADAPTIVE MANAGEMENT

Andik Isdianto^{1*}, Tri Djoko Lelono², Gatut Bintoro³, Arief Setyanto⁴, Eden Louis Sabrina⁵, Intan Astritya Anggraini⁶, Aulia Lanudia Fathah⁷, Berlania Mahardika Putri⁸, Supriyadi⁹

^{1*}Universitas Brawijaya, Email : andik.isdianto@ub.ac.id

²Universitas Brawijaya, Email : t.djoko@ub.ac.id

³Universitas Brawijaya, Email : gbintoro@ub.ac.id

⁴Universitas Brawijaya, Email : asetyanto@ub.ac.id

⁵Universitas Brawijaya, Email : edenlouiss@student.ub.ac.id

⁶Universitas Brawijaya, Email : intanastritya@student.ub.ac.id

⁷Universitas Brawijaya, Email : aulialanudiaf@gmail.com

⁸Universitas Brawijaya, Email : berlaniamahardika@gmail.com

⁹National Taiwan Ocean University, Email : 21209003@mail.ntou.edu.tw

*email koresponden: andik.isdianto@ub.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.62567/ijosse.v2i3.3397>

Abstrack

Coastal areas are dynamic spaces where ecological processes, resource use, human dependence, institutions, and environmental change interact continuously. Understanding these interactions requires an integrated perspective that connects ecosystem conditions with human activities, vulnerability, adaptive capacity, evidence, and management responses. This study synthesizes conceptual and empirical literature through a structured integrative literature review to examine human–environment linkages, multiple stressors, vulnerability, adaptive capacity, ecosystem resilience, environmental observation, and evidence-based decision-making in coastal contexts. The synthesis shows that ecological degradation cannot be interpreted independently from changes in ecosystem services, livelihood dependence, social sensitivity, institutional capacity, and management responses. Adaptive capacity is shaped not only by material assets but also by flexibility, social organization, learning, agency, and access to relevant information. Furthermore, monitoring, remote sensing, GIS, socio-economic data, and local knowledge become management-relevant only when they are transformed into interpretable evidence and linked to decision-making. Based on these findings, this review proposes the Coastal Social-Ecological Evidence-to-Adaptation Pathway (C-SEAP), a conceptual pathway linking environmental pressures, ecosystem condition, ecosystem services, social-ecological consequences, observation, evidence, understanding, decisions, actions, monitoring, learning, and adjustment. C-SEAP is intended as a conceptual and educational framework rather than



a validated causal model or operational assessment tool. Its future development requires measurable indicators, empirical testing, and application across diverse coastal settings.

Keywords: Adaptive Capacity, Ecosystem Services, Environmental Monitoring, Decision Support, C-SEAP.

Abstrak

Wilayah pesisir merupakan ruang dinamis tempat proses ekologis, pemanfaatan sumber daya, ketergantungan masyarakat, kelembagaan, dan perubahan lingkungan saling berinteraksi. Pemahaman terhadap hubungan tersebut memerlukan perspektif terintegrasi yang menghubungkan kondisi ekosistem dengan aktivitas manusia, kerentanan, kapasitas adaptif, bukti, dan respons pengelolaan. Kajian ini mensintesis literatur konseptual dan empiris melalui tinjauan literatur integratif terstruktur untuk membahas keterhubungan manusia–lingkungan, tekanan majemuk, kerentanan, kapasitas adaptif, kemampuan sistem mempertahankan fungsi, observasi lingkungan, serta pengambilan keputusan berbasis bukti pada wilayah pesisir. Hasil sintesis menunjukkan bahwa degradasi ekologis tidak dapat dipahami secara terpisah dari perubahan jasa ekosistem, ketergantungan mata pencaharian, sensitivitas sosial, kapasitas kelembagaan, dan respons pengelolaan. Kapasitas adaptif tidak hanya ditentukan oleh aset, tetapi juga oleh fleksibilitas, organisasi sosial, pembelajaran, agensi, dan akses terhadap informasi yang relevan. Selain itu, *monitoring*, penginderaan jauh, GIS, data sosial-ekonomi, dan pengetahuan lokal baru memperoleh nilai pengelolaan ketika diterjemahkan menjadi bukti yang dapat diinterpretasikan dan dihubungkan dengan pengambilan keputusan. Berdasarkan sintesis tersebut, kajian ini mengembangkan *Coastal Social-Ecological Evidence-to-Adaptation Pathway* (C-SEAP) sebagai jalur konseptual yang menghubungkan tekanan lingkungan, kondisi ekosistem, jasa ekosistem, konsekuensi sosial-ekologis, observasi, bukti, pemahaman, keputusan, tindakan, *monitoring*, pembelajaran, dan penyesuaian. C-SEAP ditempatkan sebagai kerangka konseptual dan pembelajaran, bukan sebagai model kausal atau instrumen penilaian operasional yang telah tervalidasi. Pengembangan berikutnya memerlukan indikator terukur, pengujian empiris, dan penerapan pada beragam konteks pesisir.

Kata Kunci: Kapasitas Adaptif, Jasa Ekosistem, Pemantauan Lingkungan, Dukungan Keputusan, C-SEAP.

1. PENDAHULUAN

Wilayah pesisir merupakan ruang interaksi yang dinamis antara proses ekologis dan aktivitas manusia. Ekosistem seperti mangrove, terumbu karang, padang lamun, estuari, mudflat, dan perairan pesisir menyediakan habitat, sumber daya perikanan, perlindungan pantai, penyimpanan karbon, ruang rekreasi, serta berbagai jasa ekosistem lain yang menopang kehidupan dan aktivitas ekonomi masyarakat. Pada saat yang sama, kondisi ekosistem tersebut dipengaruhi oleh keputusan manusia melalui pemanfaatan sumber daya, pembangunan pesisir, perikanan, budidaya, pariwisata, konservasi, serta berbagai bentuk pengaturan dan kelembagaan. Hubungan timbal balik tersebut menyebabkan wilayah pesisir tidak memadai apabila dipahami hanya sebagai sistem ekologis atau sistem sosial secara terpisah. Perspektif *social-ecological system* (SES) menempatkan manusia dan lingkungan sebagai komponen yang terhubung melalui interaksi, ketergantungan, dan umpan balik yang terus berubah (Folke, 2006; Ostrom, 2009; Refulio-Coronado et al., 2021).

Karakter keterhubungan tersebut menjadi semakin penting karena wilayah pesisir menghadapi tekanan yang berlangsung secara bersamaan dan pada berbagai skala. Tekanan antropogenik dapat berasal dari eksploitasi sumber daya, pencemaran, perubahan penggunaan lahan, pembangunan infrastruktur, reklamasi, pariwisata, maupun peningkatan intensitas pemanfaatan ruang, sedangkan perubahan iklim dan variabilitas lingkungan menambah tekanan melalui peningkatan suhu, perubahan muka laut, kejadian ekstrem, dan perubahan kondisi oseanografi. Dalam sistem sosial-ekologi, tekanan



tersebut tidak berhenti pada perubahan kondisi ekologis. Degradasi habitat atau penurunan kualitas lingkungan dapat mengubah ketersediaan jasa ekosistem, memengaruhi mata pencaharian dan kesejahteraan masyarakat, memicu perubahan perilaku pemanfaatan, serta menghasilkan respons kelembagaan yang selanjutnya dapat memperkuat atau mengurangi tekanan terhadap ekosistem. Dengan demikian, perubahan pesisir perlu dipahami sebagai rangkaian hubungan antara tekanan, kondisi ekosistem, konsekuensi sosial, dan umpan balik antarkomponen sistem (Refulio-Coronado et al., 2021).

Kemampuan sistem untuk menghadapi perubahan tersebut berkaitan dengan konsep kerentanan, kapasitas adaptif, dan resiliensi. Resiliensi pada SES tidak hanya menunjukkan kemampuan untuk kembali pada kondisi sebelum gangguan, tetapi juga kemampuan mempertahankan fungsi, struktur, identitas, dan umpan balik penting ketika mengalami perubahan serta, apabila diperlukan, melakukan adaptasi atau transformasi (Walker et al., 2004; Folke, 2006). Kapasitas adaptif menjelaskan kemampuan sistem atau aktor untuk menyesuaikan strategi dan merespons perubahan, yang pada masyarakat pesisir dapat dipengaruhi oleh aset, fleksibilitas mata pencaharian, kemampuan belajar, organisasi sosial, dan kapasitas bertindak (Cinner et al., 2018). Kajian kawasan pesisir menunjukkan bahwa resiliensi dan kapasitas adaptif perlu dibaca secara terintegrasi karena tekanan lingkungan sering berlangsung bersama dengan ketergantungan ekonomi, keterbatasan kelembagaan, serta perubahan sosial yang menentukan kemampuan masyarakat dan ekosistem untuk merespons gangguan (Ferro-Azcona et al., 2019).

Keterkaitan tersebut juga terlihat pada berbagai sistem pesisir Indonesia. Restorasi mangrove di pesisir utara Jawa Timur menunjukkan bahwa pemulihan ekosistem dapat ditempatkan bersama dengan mitigasi dan adaptasi perubahan iklim dalam pengelolaan pesisir terpadu (Rudianto et al., 2022). Pada ekosistem terumbu karang di Selat Sempu, pemantauan ikan karang telah digunakan untuk membantu memahami perubahan kondisi dan resiliensi terumbu pada kawasan yang menghadapi tekanan aktivitas manusia (Bintoro et al., 2023), sedangkan keberadaan sampah laut memperlihatkan bentuk tekanan antropogenik yang secara langsung berkaitan dengan kondisi ekosistem terumbu (Isdianto et al., 2024). Pada konteks pemanfaatan, perencanaan wisata bahari di Malang Selatan serta pengelolaan terumbu karang dan wisata di Kondang Merak menunjukkan perlunya mengintegrasikan kondisi ekologis, kesesuaian pemanfaatan, zonasi, keterlibatan masyarakat, dan tindakan pengelolaan agar aktivitas ekonomi tidak dipisahkan dari kapasitas ekosistem yang menopangnya (Pratama et al., 2025; Isdianto, Musalima, et al., 2025).

Namun, tersedianya data mengenai kondisi lingkungan belum dengan sendirinya menghasilkan keputusan pengelolaan yang adaptif. Pengamatan lapangan, pemantauan ekologis, data sosial-ekonomi, penginderaan jauh, sistem informasi geografis, dan pengetahuan lokal perlu diubah menjadi bukti yang dapat diinterpretasikan dalam konteks perubahan sistem. Contoh dari pengelolaan perikanan menunjukkan bagaimana informasi suhu permukaan laut, klorofil-a, dan data penangkapan dapat dikembangkan menjadi indikator kesesuaian habitat dan informasi spasial yang lebih mudah digunakan dalam perencanaan. Pendekatan tersebut memperlihatkan pentingnya pergeseran dari sekadar menghasilkan data menuju penyusunan informasi yang mendukung pemahaman dan pengambilan keputusan (Sambah et al., 2026). Dalam konteks SES pesisir, tantangannya menjadi lebih luas karena bukti ekologis perlu dibaca bersama dengan aktivitas manusia, ketergantungan terhadap sumber daya, kapasitas aktor, serta konsekuensi sosial dari perubahan lingkungan.

Literatur mengenai SES telah menyediakan landasan teoritis yang kuat untuk memahami keterhubungan manusia dan alam, sementara kajian pesisir telah berkembang dalam tema resiliensi, kerentanan, kapasitas adaptif, *governance*, dan umpan balik sistem. Namun, sintesis terhadap 98 kajian SES pesisir dan laut menunjukkan bahwa integrasi antara komponen sosial dan ekologis masih tidak selalu dilakukan secara komprehensif serta masih terdapat kebutuhan untuk meningkatkan konsistensi antara indikator, batas spasial, dan representasi hubungan antarkomponen sistem (Refulio-Coronado et al., 2021). Kajian mengenai kapasitas adaptif dan resiliensi pesisir juga menunjukkan adanya ketimpangan geografis penelitian serta kebutuhan terhadap pendekatan pengelolaan yang lebih partisipatif, komprehensif, dan fleksibel (Ferro-Azcona et al., 2019). Kondisi tersebut menunjukkan



bahwa kebutuhan saat ini bukan sekadar menambah definisi SES, tetapi menyederhanakan hubungan antara kondisi ekosistem, tekanan, bukti perubahan, pemahaman sistem, keputusan pengelolaan, dan respons adaptif menjadi jalur konseptual yang dapat digunakan untuk pembelajaran maupun pengelolaan.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, kajian ini bertujuan untuk: (1) menjelaskan konsep sistem sosial-ekologi pesisir dan hubungan antara komponen sosial dan ekologis; (2) mensintesis tekanan antropogenik dan lingkungan serta jalur perubahan yang ditimbulkannya; (3) memperjelas hubungan antara kerentanan, kapasitas adaptif, dan resiliensi; (4) menjelaskan bagaimana observasi dan bukti dapat dikembangkan menjadi pemahaman terhadap kondisi sistem; serta (5) menghubungkan pemahaman tersebut dengan pengambilan keputusan dan pengelolaan pesisir adaptif. Berdasarkan sintesis tersebut, kajian ini mengembangkan *Coastal Social-Ecological Evidence-to-Adaptation Pathway (C-SEAP)* sebagai jalur konseptual yang menghubungkan tekanan dan kondisi ekosistem dengan observasi, bukti, pemahaman sosial-ekologis, keputusan pengelolaan, tindakan, serta adaptasi dan resiliensi melalui proses pembelajaran dan umpan balik. C-SEAP dalam kajian ini ditempatkan sebagai kerangka konseptual, bukan sebagai instrumen penilaian atau model kausal yang telah divalidasi secara empiris.

2. METODE PENELITIAN

Desain Kajian

Penelitian ini menggunakan tinjauan literatur integratif terstruktur (*structured integrative literature review*) dengan pendekatan deskriptif-kualitatif. Pendekatan ini dipilih karena kajian sistem sosial-ekologi pesisir berkembang lintas disiplin dan mencakup teori, kerangka konseptual, penelitian empiris, indikator, serta pendekatan pengelolaan yang beragam. Tinjauan integratif memungkinkan penggabungan berbagai jenis literatur untuk mengidentifikasi pola, hubungan, perbedaan, dan keterkaitan antarkomponen sistem tanpa mensyaratkan keseragaman desain penelitian atau indikator (Torraco, 2005; Whitemore & Knafl, 2005; Snyder, 2019).

Kajian diarahkan pada lima fokus utama, yaitu: (1) konsep sistem sosial-ekologi pesisir dan keterhubungan antara manusia dan ekosistem; (2) tekanan antropogenik dan lingkungan serta jalur perubahan sosial-ekologis; (3) kerentanan, kapasitas adaptif, dan resiliensi; (4) observasi, bukti, dan pembentukan pemahaman sistem; serta (5) hubungan antara pemahaman sistem, keputusan pengelolaan, tindakan adaptif, pembelajaran, dan resiliensi.

Strategi Penelusuran Literatur

Scopus digunakan sebagai basis data utama untuk memperoleh literatur *peer-reviewed* yang relevan. Penelusuran dilakukan secara terstruktur dan iteratif untuk memperoleh cakupan konseptual dan empiris yang sesuai dengan tujuan kajian, bukan sebagai inventarisasi bibliografis yang bersifat exhaustif. Oleh karena itu, jumlah hasil pencarian awal dari setiap kombinasi kata kunci tidak digunakan sebagai dasar analisis kuantitatif.

Penelusuran diterapkan pada judul, abstrak, dan kata kunci menggunakan kombinasi istilah berikut:

1. "social-ecological system*" AND (coastal OR marine)
2. (coastal OR marine) AND resilience AND "adaptive capacity"
3. (coastal OR marine) AND (vulnerability OR resilience) AND communit*
4. (coastal OR marine) AND "adaptive management"
5. "social-ecological system*" AND (pressure* OR driver* OR disturbance*)
6. (coastal OR marine) AND monitoring AND ("decision support" OR management)
7. (coastal OR marine) AND ("remote sensing" OR GIS OR "local knowledge") AND management
8. "social-ecological system*" AND (governance OR adaptation OR feedback*)

Istilah tambahan seperti *ecosystem condition*, *anthropogenic pressure*, *ecosystem services*, *social vulnerability*, *adaptive governance*, *environmental monitoring*, *local ecological knowledge*, *learning*, dan *decision-making* digunakan secara selektif untuk memperluas cakupan apabila pencarian utama belum menangkap literatur yang relevan.



Penelusuran Scopus dilengkapi melalui Google Scholar dan penelusuran daftar referensi dari publikasi kunci (*backward citation searching*). Penelusuran tambahan terutama digunakan untuk memperoleh publikasi seminal, studi yang memberikan konteks empiris Indonesia, serta literatur yang menghubungkan kondisi ekosistem, aktivitas manusia, *monitoring*, dan pengelolaan. ResearchGate digunakan apabila diperlukan untuk memperoleh akses terhadap naskah atau versi lengkap publikasi yang telah teridentifikasi, bukan sebagai basis data utama untuk membentuk korpus literatur.

Kajian memprioritaskan artikel jurnal *peer-reviewed*, artikel review, dan publikasi seminal. Literatur internasional digunakan untuk membangun landasan teoritis, sedangkan studi pesisir Indonesia digunakan untuk memberikan konteks empiris mengenai tekanan, kondisi ekosistem, penggunaan sumber daya, *monitoring*, restorasi, pariwisata, dan pengelolaan pesisir.

Kriteria Kelayakan dan Seleksi Literatur

Publikasi dipertahankan dalam sintesis apabila memberikan kontribusi substantif terhadap sedikitnya satu fokus kajian, yaitu:

1. Menjelaskan konsep atau karakteristik sistem sosial-ekologi, khususnya pada wilayah pesisir dan laut;
2. Mengidentifikasi tekanan antropogenik, lingkungan, atau perubahan iklim serta pengaruhnya terhadap kondisi ekosistem;
3. Membahas kerentanan, *adaptive capacity*, adaptasi, resiliensi, atau transformasi sistem;
4. Menghubungkan kondisi ekosistem atau jasa ekosistem dengan mata pencaharian, kesejahteraan, ketergantungan masyarakat, atau aktivitas pemanfaatan sumber daya;
5. Menggunakan *monitoring* ekologis, data sosial-ekonomi, GIS, penginderaan jauh, atau pengetahuan lokal untuk memahami perubahan sistem;
6. Menjelaskan hubungan antara bukti ilmiah, pembelajaran, pengambilan keputusan, dan tindakan pengelolaan; atau
7. Membahas pengelolaan adaptif, tata kelola, restorasi, mitigasi, atau bentuk respons lain terhadap perubahan sosial-ekologis.

Publikasi tidak diprioritaskan apabila hanya menggunakan istilah *social-ecological system* secara perifer tanpa menjelaskan hubungan sosial dan ekologis, hanya mendeskripsikan parameter lingkungan tanpa keterkaitan dengan pemahaman atau pengelolaan sistem, tidak memberikan kontribusi terhadap tujuan sintesis, atau merupakan duplikasi. Batas tahun tidak diterapkan secara kaku terhadap publikasi seminal, sedangkan literatur empiris diprioritaskan pada penelitian yang lebih mutakhir agar sintesis merepresentasikan perkembangan kontemporer.

Setelah pemeriksaan relevansi dan kesesuaian terhadap fokus kajian, 30 publikasi substantif dipertahankan sebagai korpus utama untuk sintesis konseptual dan empiris. Publikasi tersebut mencakup literatur seminal mengenai sistem sosial-ekologi, kerentanan, kapasitas adaptif, dan resiliensi; artikel review mengenai sistem pesisir dan pengelolaan adaptif; serta studi empiris mengenai *monitoring*, penginderaan jauh, pengelolaan habitat, pariwisata, restorasi, perikanan, dan tekanan antropogenik. Selain itu, tiga publikasi digunakan secara khusus sebagai rujukan metodologis untuk mendukung pendekatan tinjauan literatur integratif terstruktur, yaitu Torraco (2005), Whittemore dan Knafl (2005), serta Snyder (2019).

Ekstraksi dan Pengorganisasian Informasi

Informasi dari publikasi terpilih diekstraksi ke dalam matriks kajian. Informasi yang dicatat meliputi penulis dan tahun publikasi, lokasi atau cakupan penelitian, jenis ekosistem pesisir, komponen sosial yang dianalisis, bentuk tekanan, kondisi atau perubahan ekosistem, metode observasi, indikator yang digunakan, konsekuensi sosial-ekologis, faktor kerentanan dan kapasitas adaptif, serta bentuk respons pengelolaan.

Sumber bukti juga dikelompokkan berdasarkan pendekatan yang digunakan, seperti pemantauan lapangan, pengukuran kualitas lingkungan, survei sosial-ekonomi, penginderaan jauh, GIS, pengetahuan lokal, atau kombinasi beberapa sumber informasi. Pengelompokan tersebut digunakan untuk menelusuri bagaimana observasi dikembangkan menjadi bukti dan selanjutnya digunakan untuk memahami perubahan dalam sistem sosial-ekologi pesisir.



Karena literatur yang ditelaah menggunakan desain, skala spasial, populasi, indikator, dan pendekatan analisis yang beragam, kajian ini tidak melakukan penggabungan statistik maupun meta-analisis. Kajian juga tidak menerapkan satu skor kualitas yang seragam untuk seluruh publikasi karena perbedaan antara artikel konseptual dan penelitian empiris. Kejelasan metode, relevansi terhadap tujuan kajian, keterlacakan temuan, dan kontribusi terhadap sintesis tetap diperhatikan selama proses seleksi dan interpretasi.

Sintesis Tematik dan Pengembangan Kerangka Konseptual

Data dianalisis menggunakan sintesis tematik dan konseptual. Literatur terlebih dahulu dikelompokkan berdasarkan lima tema utama, yaitu: (1) keterhubungan sistem manusia dan ekosistem; (2) tekanan dan jalur perubahan sosial-ekologis; (3) kerentanan, kapasitas adaptif, dan resiliensi; (4) observasi, bukti, dan pemahaman sistem; serta (5) keputusan pengelolaan dan adaptasi.

Hubungan antartema kemudian dibandingkan untuk mengidentifikasi pola yang berulang. Sintesis tidak diarahkan untuk menentukan satu bentuk pengelolaan yang berlaku universal, tetapi untuk memahami bagaimana tekanan menghasilkan perubahan kondisi ekosistem, bagaimana perubahan tersebut memengaruhi dimensi sosial, bagaimana perubahan dapat diamati dan diterjemahkan menjadi bukti, serta bagaimana pemahaman yang dihasilkan dapat mendukung keputusan dan tindakan pengelolaan.

Hasil sintesis digunakan untuk mengembangkan *Coastal Social-Ecological Evidence-to-Adaptation Pathway* (C-SEAP). Kerangka ini mengintegrasikan dua jalur yang saling berkaitan, yaitu jalur perubahan sistem yang menghubungkan tekanan, kondisi ekosistem, jasa ekosistem, dan konsekuensi sosial-ekologis, serta jalur respons pengelolaan yang menghubungkan observasi, bukti, pemahaman, keputusan, tindakan, *monitoring*, pembelajaran, dan penyesuaian. Hubungan antarkomponen ditempatkan dalam proses umpan balik karena tindakan pengelolaan dapat mengubah tekanan maupun kondisi ekosistem yang selanjutnya perlu diamati kembali.

C-SEAP dalam kajian ini diperlakukan sebagai hasil sintesis konseptual, bukan sebagai model kausal, indeks penilaian, sistem skoring, atau instrumen pengambilan keputusan yang telah divalidasi secara empiris. Pengembangan indikator operasional, ambang batas, prosedur penilaian, serta pengujian empiris pada berbagai konteks sosial-ekologis ditempatkan sebagai arah penelitian selanjutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem Sosial-Ekologi Pesisir sebagai Sistem Manusia–Alam yang Terhubung

Sistem sosial-ekologi (*social-ecological system* atau *SES*) merupakan pendekatan yang memandang manusia dan lingkungan bukan sebagai dua sistem yang berdiri sendiri, tetapi sebagai komponen yang saling bergantung dan membentuk hubungan timbal balik. Aktivitas manusia memengaruhi struktur, fungsi, dan dinamika ekosistem, sedangkan perubahan kondisi ekosistem memengaruhi sumber daya, mata pencaharian, kesejahteraan, pilihan perilaku, serta keputusan pengelolaan manusia. Keterhubungan tersebut menyebabkan perubahan pada salah satu komponen dapat menghasilkan konsekuensi pada komponen lain melalui berbagai bentuk umpan balik (*feedback*) (Berkes & Folke, 1998; Liu et al., 2007; Ostrom, 2009). Perspektif ini berbeda dari pendekatan yang menempatkan persoalan lingkungan semata-mata sebagai perubahan ekologis atau persoalan masyarakat hanya sebagai proses sosial, karena keberlanjutan ditentukan oleh hubungan di antara keduanya. Konsep *coupled human and natural systems* juga menekankan bahwa keterhubungan manusia–alam dapat menghasilkan pola kompleks, perubahan nonlinier, dan konsekuensi yang tidak selalu dapat dipahami apabila masing-masing sistem dianalisis secara terpisah (Liu et al., 2007).

Dalam konteks pesisir, hubungan tersebut menjadi sangat jelas karena masyarakat secara langsung maupun tidak langsung bergantung pada fungsi ekosistem. Mangrove, terumbu karang, padang lamun, estuari, pantai, dan perairan pesisir menyediakan habitat biota, sumber daya perikanan, perlindungan garis pantai, penyimpanan karbon, ruang rekreasi, serta berbagai jasa lain yang mendukung kegiatan ekonomi dan sosial. Pada saat yang sama, ekosistem tersebut berada dalam ruang yang digunakan untuk perikanan, budidaya, pariwisata, permukiman, pelabuhan, industri, konservasi, dan berbagai bentuk pembangunan pesisir. Karena itu, kondisi ekologis tidak hanya menentukan



kualitas lingkungan, tetapi juga membentuk peluang dan batas pemanfaatan manusia. Sebaliknya, intensitas, lokasi, teknologi, dan aturan pemanfaatan akan memengaruhi kondisi ekosistem yang menjadi dasar aktivitas tersebut.

Secara sederhana, SES pesisir dapat dipahami melalui empat komponen yang saling berkaitan, yaitu sistem ekologis, sistem sosial, kelembagaan pengelolaan, serta interaksi dan umpan balik di antara ketiganya. Sistem ekologis mencakup habitat, sumber daya, biodiversitas, kualitas lingkungan, dan proses ekologis. Sistem sosial mencakup masyarakat, pengguna sumber daya, mata pencaharian, pengetahuan, nilai, perilaku, serta kepentingan aktor. Kelembagaan mencakup aturan formal maupun informal, hak akses, kebijakan, organisasi, mekanisme partisipasi, serta kewenangan pengambilan keputusan. Ketiga komponen tersebut tidak berjalan secara paralel, tetapi berinteraksi melalui kegiatan pemanfaatan, distribusi jasa ekosistem, aliran informasi, keputusan pengelolaan, dan respons terhadap perubahan (Ostrom, 2009; Refulio-Coronado et al., 2021). Kerangka SES Ostrom juga menempatkan *resource systems*, *resource units*, *governance systems*, dan *actors/users* sebagai komponen yang berinteraksi dan menghasilkan berbagai keluaran sosial-ekologis.

Dengan demikian, sistem sosial-ekologi pesisir dapat didefinisikan sebagai sistem terkopel tempat kondisi dan proses ekosistem memengaruhi manfaat, aktivitas, serta kesejahteraan manusia, sementara pemanfaatan, perilaku, kelembagaan, dan keputusan manusia kembali memengaruhi kondisi serta kemampuan ekosistem untuk mempertahankan fungsi dan menyediakan jasa. Definisi ini menempatkan hubungan timbal balik sebagai karakter utama SES. Keberadaan manusia di sekitar suatu ekosistem saja belum cukup untuk menunjukkan analisis SES apabila interaksi dan konsekuensi antara komponen sosial dan ekologis tidak dijelaskan. Hal ini relevan dengan tinjauan Refulio-Coronado et al. (2021), yang menunjukkan bahwa sebagian kajian coastal dan marine SES masih memberikan penekanan yang tidak seimbang pada salah satu subsistem sehingga integrasi sosial dan ekologis belum selalu tercapai secara utuh.

Jasa ekosistem menjadi salah satu penghubung penting antara kedua subsistem tersebut. Perubahan kondisi habitat dapat memengaruhi ketersediaan ikan, perlindungan pantai, kualitas perairan, nilai wisata, maupun manfaat lainnya, sehingga konsekuensi ekologis dapat diterjemahkan menjadi konsekuensi ekonomi dan sosial. Namun, hubungan ini tidak bersifat satu arah. Ketika manfaat atau sumber daya berubah, masyarakat dapat menyesuaikan lokasi pemanfaatan, meningkatkan atau mengurangi intensitas eksploitasi, mengubah mata pencaharian, menuntut perubahan aturan, atau terlibat dalam konservasi dan restorasi. Respons tersebut kemudian kembali memengaruhi kondisi ekologis. Karena itu, jasa ekosistem dalam SES tidak hanya dipahami sebagai manfaat yang “diberikan alam kepada manusia”, tetapi sebagai salah satu jalur yang menghubungkan perubahan ekologi dengan perilaku, keputusan, dan respons sosial.

Hubungan manusia–ekosistem tersebut dapat ditemukan pada berbagai konteks pesisir Indonesia. Restorasi mangrove di pesisir utara Jawa Timur, misalnya, tidak hanya berkaitan dengan pemulihan vegetasi, tetapi ditempatkan dalam konteks pengelolaan ekosistem terpadu serta mitigasi dan adaptasi perubahan iklim (Rudianto et al., 2022). Pada kawasan wisata bahari, perencanaan di Malang Selatan mengintegrasikan kesesuaian lingkungan, penggunaan ruang, dan zonasi dalam menentukan bentuk pemanfaatan yang lebih seimbang (Pratama et al., 2025). Demikian pula, pengelolaan terumbu karang dan wisata bahari di Kondang Merak menunjukkan bahwa kualitas ekosistem, kapasitas pemanfaatan, kegiatan wisata, dan tindakan pengelolaan perlu dianalisis sebagai bagian dari hubungan yang sama, bukan sebagai persoalan ekologi dan pariwisata yang terpisah (Isdianto, Musalima, et al., 2025). Contoh-contoh tersebut memperlihatkan bahwa kondisi ekosistem menyediakan peluang pemanfaatan, sementara pemanfaatan itu sendiri dapat menentukan keberlanjutan kondisi ekologis yang menopangnya.

Karakter penting berikutnya adalah adanya umpan balik (*feedback*). *Feedback* terjadi ketika perubahan pada satu bagian sistem menghasilkan respons yang kemudian kembali memengaruhi kondisi awal atau komponen lain. Umpan balik dapat bersifat memperkuat tekanan maupun mengurangi tekanan. Penurunan sumber daya, misalnya, dapat mendorong peningkatan intensitas pemanfaatan untuk mempertahankan pendapatan sehingga tekanan ekologis semakin besar. Sebaliknya, bukti



degradasi juga dapat mendorong pembatasan pemanfaatan, restorasi, perubahan zonasi, atau bentuk pengelolaan lain yang menurunkan tekanan dan memberi ruang bagi pemulihan ekosistem. *Feedback* menyebabkan SES bersifat dinamis dan menjelaskan mengapa hubungan antara tekanan dan hasil pengelolaan tidak selalu linear. Kajian coastal dan marine SES memang menempatkan *feedback*, bersama dengan resiliensi, kerentanan, kapasitas adaptif, dan *governance*, sebagai karakter penting untuk memahami perubahan sistem (Refulio-Coronado et al., 2021).

Konsekuensinya, batas analisis SES pesisir tidak selalu sama dengan batas administratif atau batas satu ekosistem. Aktivitas di daratan dapat memengaruhi kualitas perairan pesisir melalui limpasan, pencemaran, atau sedimentasi, sementara perubahan sumber daya laut dapat memengaruhi rumah tangga dan pasar yang lokasinya berada jauh dari ekosistem yang diamati. Refulio-Coronado et al. (2021) juga menunjukkan meningkatnya perhatian terhadap land-based stressors dalam kajian coastal SES serta pentingnya kesesuaian batas spasial antara subsistem sosial dan ekologis. Oleh sebab itu, penentuan batas sistem sebaiknya mengikuti proses sosial-ekologis yang ingin dipahami, bukan semata-mata mengikuti batas geografis yang paling mudah digunakan.

Berdasarkan sintesis tersebut, memahami SES pesisir memerlukan pergeseran dari pertanyaan “bagaimana kondisi ekosistem?” menuju pertanyaan yang lebih terintegrasi: “bagaimana kondisi ekosistem berubah, aktivitas dan keputusan manusia apa yang berinteraksi dengannya, siapa yang menerima manfaat atau dampak, serta bagaimana respons manusia kembali memengaruhi sistem?” Perspektif ini menjadi dasar bagi pembahasan selanjutnya karena keterhubungan manusia–ekosistem baru memperoleh makna pengelolaan ketika dapat dijelaskan bagaimana tekanan bekerja melalui sistem tersebut. Bagian berikutnya karena itu membahas tekanan antropogenik dan lingkungan serta jalur perubahan yang menghubungkan tekanan dengan kondisi ekosistem dan konsekuensi sosial-ekologis.

Tekanan dan Jalur Perubahan Sosial-Ekologis di Wilayah Pesisir

Tekanan dalam sistem sosial-ekologi pesisir merupakan proses atau aktivitas yang secara langsung maupun tidak langsung mengubah kondisi, fungsi, atau kemampuan ekosistem dalam menyediakan sumber daya dan jasa bagi manusia. Tekanan perlu dibedakan dari *driver*. *Driver* merupakan kekuatan yang lebih luas, seperti pertumbuhan penduduk, perkembangan ekonomi, perubahan teknologi, permintaan pasar, kebijakan pembangunan, atau perubahan iklim, sedangkan *pressure* merupakan mekanisme yang lebih dekat dengan perubahan kondisi sistem, seperti eksploitasi sumber daya, pencemaran, konversi habitat, perubahan penggunaan ruang, peningkatan suhu, atau kenaikan muka laut. Perbedaan tersebut penting karena satu *driver* dapat menghasilkan beberapa tekanan, dan tekanan yang berbeda dapat bekerja secara bersamaan terhadap komponen ekosistem yang sama (Gari et al., 2015). Kerangka *Driver–Pressure–State–Impact–Response* (DPSIR) juga telah banyak digunakan untuk membaca hubungan sebab-akibat pada sistem sosial-ekologi pesisir, meskipun batas antara *driver*, *pressure*, dan *impact* perlu ditetapkan secara konsisten sesuai konteks analisis.

Tekanan antropogenik di wilayah pesisir dapat berasal dari perikanan, budidaya, pariwisata, pelabuhan, reklamasi, industri, permukiman, limbah, perubahan penggunaan lahan, serta pembangunan infrastruktur. Bentuk tekanannya dapat berupa pengambilan sumber daya secara langsung, perubahan habitat, peningkatan beban pencemar, gangguan fisik, sedimentasi, sampah laut, perubahan hidrodinamika, maupun pembatasan ruang ekologis. Tekanan tersebut tidak selalu bekerja secara terpisah. Analisis global terhadap ekosistem laut menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah laut telah mengalami pengaruh aktivitas manusia dan banyak kawasan menerima beberapa tekanan secara bersamaan, sehingga kondisi suatu ekosistem lebih tepat dipahami dari kombinasi tekanan daripada dari satu aktivitas tunggal (Halpern et al., 2008).

Selain tekanan lokal dan regional, sistem pesisir juga menghadapi perubahan lingkungan dan iklim yang bekerja pada skala lebih luas. Peningkatan suhu, kenaikan muka laut, perubahan pola gelombang dan badai, perubahan curah hujan dan limpasan daratan, serta perubahan kondisi oseanografi dapat memengaruhi distribusi organisme, struktur habitat, kualitas perairan, dan produktivitas ekosistem. Tekanan iklim memiliki karakter berbeda dari sebagian besar tekanan lokal karena pengelola pesisir tidak selalu dapat mengendalikan sumbernya secara langsung. Namun, besarnya dampak iklim dapat dipengaruhi oleh kondisi tekanan lokal. Tinjauan Gissi et al. (2021)



menunjukkan bahwa perubahan iklim dan tekanan manusia lokal dapat berinteraksi secara kumulatif, sinergis, maupun kontekstual; perubahan iklim dalam banyak kasus dapat memperkuat pengaruh tekanan lokal, tetapi bentuk interaksinya berbeda antarspesies, kelompok trofik, dan ekosistem. Karena itu, pengelolaan tekanan lokal tetap penting sebagai bagian dari strategi menghadapi perubahan global.

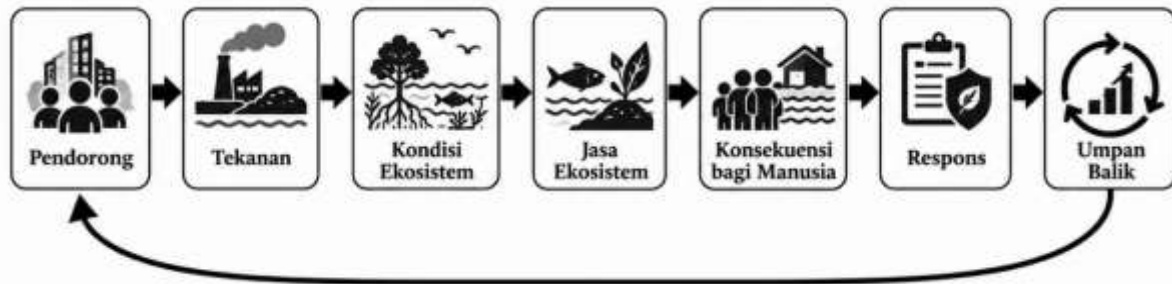
Karakter multiple pressures tersebut penting dalam analisis SES pesisir. Suatu terumbu karang, misalnya, dapat secara bersamaan mengalami peningkatan suhu, aktivitas wisata, sedimentasi, pencemaran, sampah laut, dan penangkapan ikan. Demikian pula ekosistem mangrove dapat menghadapi konversi lahan, perubahan aliran air, pemanenan sumber daya, pencemaran, dan kenaikan muka laut. Respons ekologis terhadap kombinasi tersebut tidak selalu merupakan penjumlahan sederhana dari setiap tekanan karena satu tekanan dapat meningkatkan atau mengurangi sensitivitas sistem terhadap tekanan lainnya. Oleh sebab itu, hubungan *pressure* → *ecosystem condition* sebaiknya tidak diasumsikan selalu linear. Intensitas, durasi, frekuensi, skala spasial, kondisi awal ekosistem, dan interaksi antartekanan menentukan besarnya perubahan yang terjadi (Gissi et al., 2021).

Tekanan selanjutnya memperoleh makna sosial-ekologis ketika perubahan kondisi ekosistem memengaruhi manfaat yang diterima manusia. Degradasi terumbu karang dapat memengaruhi habitat ikan, produktivitas perikanan, kualitas lokasi wisata, dan fungsi perlindungan pantai. Penurunan mangrove dapat mengubah habitat biota, perlindungan garis pantai, penyimpanan karbon, dan pemanfaatan sumber daya oleh masyarakat. Penurunan kualitas perairan dapat memengaruhi perikanan, budidaya, kesehatan ekosistem, maupun daya tarik wisata. Dengan demikian, jalur perubahan tidak berhenti pada tekanan → perubahan ekologis, tetapi dapat berkembang menjadi tekanan → kondisi ekosistem → jasa ekosistem → pemanfaatan dan kesejahteraan manusia. Pada titik ini, perubahan ekologis telah menjadi persoalan sosial-ekologis karena dampaknya bergantung pada siapa yang menggunakan sumber daya, tingkat ketergantungannya, dan alternatif yang tersedia.

Berbagai kasus pesisir Indonesia memperlihatkan jalur tersebut. Sampah laut di kawasan terumbu Pulau Sempu menunjukkan bagaimana aktivitas manusia menghasilkan tekanan fisik terhadap ekosistem terumbu dan menjadi bagian dari kebutuhan pengelolaan kawasan (Isdianto et al., 2024). Pada Tabuhan dan Bangsring, perbedaan intensitas wisata berkaitan dengan perbedaan struktur komunitas makroinvertebrata terumbu, sehingga aktivitas wisata perlu dipertimbangkan bersama dengan kondisi ekologis dan kebutuhan pengelolaan pemanfaatan (Isdianto, Wibowo, et al., 2025). Di Estuari Manyar, reklamasi industri berlangsung bersama perubahan kondisi kualitas perairan dan menunjukkan perlunya menghubungkan perubahan penggunaan ruang dengan *monitoring* lingkungan serta perencanaan pesisir (Isdianto et al., 2026). Ketiga contoh tersebut memperlihatkan bentuk tekanan yang berbeda—sampah, wisata, dan pembangunan fisik—tetapi memiliki logika sosial-ekologis yang sama, yaitu aktivitas manusia mengubah kondisi lingkungan dan perubahan tersebut kemudian menjadi informasi penting bagi keputusan pengelolaan.

Hubungan tersebut juga dapat bergerak ke arah sebaliknya melalui respons manusia. Penurunan kualitas atau ketersediaan sumber daya dapat mendorong masyarakat mengubah lokasi pemanfaatan, meningkatkan intensitas eksploitasi pada sumber daya yang tersisa, mencari mata pencaharian alternatif, atau mendorong perubahan kebijakan. Sebagian respons dapat menghasilkan reinforcing feedback, yaitu respons yang justru memperbesar tekanan awal. Penurunan hasil tangkapan, misalnya, dapat mendorong peningkatan upaya penangkapan untuk mempertahankan pendapatan dan selanjutnya meningkatkan tekanan terhadap sumber daya. Sebaliknya, respons berupa pembatasan pemanfaatan, restorasi, perbaikan pengelolaan limbah, perubahan zonasi, atau pengurangan aktivitas pada habitat sensitif dapat menghasilkan balancing feedback yang menurunkan tekanan dan mendukung pemulihan. Restorasi mangrove di pesisir utara Jawa Timur memberikan contoh bagaimana respons pengelolaan dapat diarahkan tidak hanya pada pemulihan ekosistem, tetapi juga pada mitigasi dan adaptasi perubahan iklim (Rudianto et al., 2022).

Dengan demikian, tekanan dalam SES pesisir tidak sebaiknya dipahami hanya sebagai daftar aktivitas yang merusak lingkungan. Tekanan merupakan bagian dari jalur perubahan sosial-ekologis yang menghubungkan penyebab, kondisi ekosistem, manfaat, konsekuensi sosial, dan respons manusia. Secara sederhana, jalur tersebut dapat diringkas sebagai:



Gambar 1. Jalur konseptual perubahan sosial-ekologis pesisir dan mekanisme umpan balik antara tekanan, kondisi ekosistem, jasa ekosistem, konsekuensi sosial, dan respons pengelolaan.
Sumber: dikembangkan oleh penulis berdasarkan sintesis Gari et al. (2015) dan Refulio-Coronado et al. (2021).

Rangkaian tersebut tidak dimaksudkan sebagai hubungan kausal yang selalu linear. Beberapa tekanan dapat bekerja secara simultan, perubahan ekologis dapat memiliki *time lag*, kelompok masyarakat dapat menerima dampak yang berbeda, dan respons manusia dapat memperkuat maupun mengurangi tekanan. Karena itu, dua sistem pesisir yang menghadapi jenis tekanan serupa belum tentu menunjukkan tingkat dampak yang sama. Perbedaan tersebut bergantung pada sensitivitas ekosistem, tingkat ketergantungan manusia, kapasitas untuk merespons, dan kemampuan sistem mempertahankan fungsi pentingnya. Hubungan inilah yang membawa pembahasan menuju konsep kerentanan, kapasitas adaptif, dan resiliensi pada bagian berikutnya.

Kerentanan, Kapasitas Adaptif, dan Resiliensi

Tekanan yang sama tidak selalu menghasilkan dampak yang sama pada setiap sistem sosial-ekologi pesisir. Perbedaan tersebut berkaitan dengan tingkat kerentanan (*vulnerability*), kapasitas adaptif (*adaptive capacity*), dan resiliensi (*resilience*) yang dimiliki oleh ekosistem maupun masyarakat. Ketiga konsep tersebut saling berhubungan, tetapi tidak memiliki arti yang sama dan tidak sebaiknya digunakan secara bergantian. Kerentanan menjelaskan kecenderungan suatu sistem mengalami kerugian ketika menghadapi tekanan, kapasitas adaptif menunjukkan kemampuan untuk menyesuaikan diri dan merespons perubahan, sedangkan resiliensi menggambarkan kemampuan sistem untuk mempertahankan fungsi penting, melakukan pemulihan, beradaptasi, atau berubah ketika menghadapi gangguan (Adger, 2006; Gallopín, 2006; Folke et al., 2010). Literatur memang menunjukkan bahwa hubungan antara kerentanan, kapasitas adaptif, dan resiliensi bersifat erat tetapi tidak sederhana, sehingga ketiganya perlu dijelaskan berdasarkan konteks sistem yang dianalisis.

Kerentanan tidak hanya ditentukan oleh keberadaan ancaman atau tekanan. Suatu komunitas atau ekosistem dapat terpapar tekanan yang tinggi tetapi mengalami konsekuensi yang berbeda bergantung pada sensitivitasnya dan kemampuan untuk merespons. Dalam literatur perubahan lingkungan, kerentanan umumnya dikaitkan dengan *exposure*, *sensitivity*, dan kapasitas untuk beradaptasi (Adger, 2006; Smit & Wandel, 2006). *Exposure* menunjukkan tingkat keterpaparan terhadap gangguan, sedangkan *sensitivity* menunjukkan sejauh mana kondisi ekologis atau sosial berubah ketika gangguan tersebut terjadi. Kapasitas adaptif kemudian menentukan sejauh mana dampak dapat dihindari, dikurangi, atau direspons. Karena itu, hubungan ketiga unsur tersebut sebaiknya dipahami secara konseptual dan tidak diperlakukan sebagai persamaan aritmetika yang berlaku universal.

Dalam sistem pesisir, kerentanan memiliki dimensi ekologis sekaligus sosial. Terumbu karang yang telah mengalami tekanan berulang, misalnya, dapat lebih sensitif terhadap gangguan termal berikutnya, sedangkan masyarakat yang sangat bergantung pada perikanan terumbu dapat lebih rentan terhadap penurunan produktivitas sumber daya dibandingkan masyarakat dengan pilihan mata pencaharian yang lebih beragam. Dengan demikian, kerentanan sosial-ekologis muncul ketika perubahan kondisi ekosistem bertemu dengan tingkat ketergantungan, sensitivitas, dan keterbatasan kapasitas manusia dalam merespons perubahan tersebut. Perspektif ini penting karena pengelolaan kerentanan tidak cukup dilakukan hanya dengan mengurangi tekanan ekologis, tetapi juga dapat memerlukan penguatan kemampuan masyarakat untuk menghadapi konsekuensi perubahan.



Kapasitas untuk menghadapi perubahan tersebut dirangkum dalam konsep kapasitas adaptif. Smit dan Wandel (2006) menempatkan kapasitas adaptif sebagai kemampuan sistem atau komunitas untuk menyesuaikan diri terhadap perubahan, mengurangi dampak, memanfaatkan peluang, atau menghadapi konsekuensi yang muncul. Pada masyarakat pesisir tropis, Cinner et al. (2018) mengembangkan lima domain yang membantu menjelaskan kapasitas adaptif, yaitu aset (*assets*), fleksibilitas (*flexibility*), organisasi sosial (*social organization*), pembelajaran (*learning*), dan agensi (*agency*). Aset menyediakan sumber daya yang dapat digunakan ketika menghadapi gangguan; fleksibilitas memungkinkan perubahan strategi atau mata pencaharian; organisasi sosial mendukung tindakan kolektif; pembelajaran memungkinkan pengenalan dan penyesuaian terhadap perubahan; sedangkan agensi menunjukkan kemampuan individu atau kelompok untuk menentukan dan melaksanakan pilihan adaptasi.

Kelima domain tersebut menunjukkan bahwa kapasitas adaptif tidak identik dengan pendapatan atau kepemilikan aset semata. Komunitas dengan sumber daya ekonomi relatif baik belum tentu mampu beradaptasi apabila akses terhadap informasi terbatas, kelembagaan lemah, pilihan mata pencaharian sempit, atau masyarakat tidak memiliki kemampuan untuk memengaruhi keputusan yang menentukan kehidupannya. Sebaliknya, pengetahuan lokal, jaringan sosial, organisasi masyarakat, kemampuan belajar, dan fleksibilitas strategi dapat memperluas pilihan respons. Namun, peningkatan kapasitas adaptif juga tidak selalu menghasilkan konsekuensi ekologis yang positif. Perubahan alat tangkap, perpindahan lokasi pemanfaatan, atau diversifikasi kegiatan, misalnya, dapat memindahkan tekanan ke sumber daya atau habitat lain apabila tidak disertai pertimbangan ekologis. Cinner et al. (2018) karena itu menekankan bahwa berbagai domain kapasitas adaptif saling berinteraksi dan dapat menghasilkan *trade-off*.

Sementara itu, resiliensi menggambarkan sifat sistem yang lebih luas. Walker et al. (2004) mendefinisikan resiliensi SES berkaitan dengan kemampuan sistem untuk menyerap gangguan dan tetap mempertahankan fungsi, struktur, identitas, serta umpan balik penting. Pemikiran resiliensi kemudian berkembang dengan memasukkan *adaptability* dan *transformability* sebagai bagian penting dalam menghadapi perubahan. *Adaptability* menunjukkan kapasitas aktor untuk menyesuaikan respons sehingga sistem dapat tetap berkembang dalam lintasan yang masih dapat dipertahankan, sedangkan *transformability* menunjukkan kemampuan membentuk sistem baru ketika kondisi yang ada tidak lagi layak dipertahankan (Walker et al., 2004; Folke et al., 2010).

Dalam konteks praktis, respons sistem terhadap gangguan dapat dibaca melalui beberapa kemungkinan: bertahan (*resist*) → pulih (*recover*) → menyesuaikan diri (*adapt*) → atau bertransformasi (*transform*). Tahapan tersebut tidak harus terjadi secara berurutan dan transformasi bukan tujuan yang selalu diperlukan. Ekosistem dapat mempertahankan fungsi melalui resistensi atau pulih setelah gangguan, sementara masyarakat dapat mengubah strategi pemanfaatan tanpa mengubah keseluruhan struktur sosial-ekologis. Transformasi menjadi relevan ketika tekanan berulang atau perubahan lingkungan menyebabkan cara pemanfaatan dan pengelolaan sebelumnya tidak lagi mampu mempertahankan fungsi penting sistem.

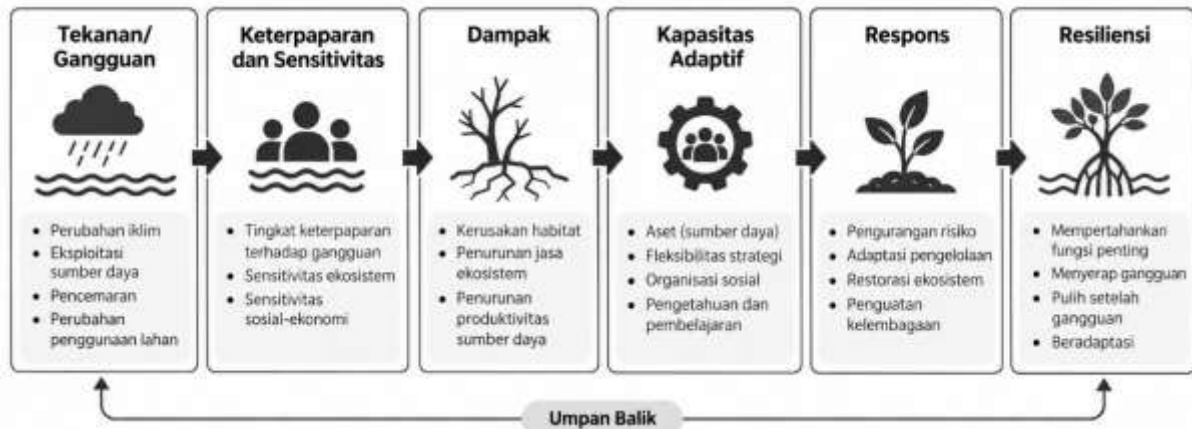
Pembedaan antara resiliensi ekologis dan resiliensi sosial-ekologis juga penting. Indikator ekologis dapat menunjukkan kemampuan habitat atau komunitas biota untuk bertahan dan pulih, tetapi belum otomatis menjelaskan kemampuan masyarakat yang bergantung padanya untuk beradaptasi. Pemantauan ikan karang di Selat Sempu, misalnya, digunakan untuk membantu membaca kondisi dan resiliensi ekosistem terumbu karang (Bintoro et al., 2023). Informasi tersebut sangat penting pada sisi ekologis, tetapi analisis SES yang lebih lengkap tetap memerlukan informasi tentang ketergantungan masyarakat, pola pemanfaatan, kapasitas kelembagaan, serta pilihan respons sosial. Dengan kata lain, resiliensi ekosistem merupakan bagian penting dari resiliensi SES, tetapi keduanya tidak selalu identik.

Hal yang sama berlaku pada restorasi. Pemulihan mangrove dapat meningkatkan fungsi habitat, perlindungan pantai, dan kemampuan ekosistem menghadapi perubahan, tetapi resiliensi sosial-ekologis juga ditentukan oleh keberlanjutan pengelolaan, keterlibatan pengguna sumber daya, dan kemampuan masyarakat menyesuaikan pemanfaatan. Pendekatan restorasi mangrove di pesisir utara Jawa Timur yang ditempatkan bersama mitigasi dan adaptasi perubahan iklim menggambarkan



pentingnya menghubungkan pemulihan ekologis dengan dimensi pengelolaan yang lebih luas (Rudianto et al., 2022). Dengan demikian, peningkatan resiliensi tidak hanya berarti “mengembalikan ekosistem seperti semula”, tetapi mempertahankan fungsi penting sambil meningkatkan kemampuan sistem menghadapi perubahan berikutnya.

Secara diagnostik, hubungan antara kerentanan, kapasitas adaptif, dan resiliensi dalam sistem sosial-ekologi pesisir dapat dijelaskan melalui jalur yang dimulai dari tekanan atau gangguan, berlanjut pada keterpaparan dan sensitivitas, menghasilkan dampak, kemudian dimediasi oleh kapasitas adaptif dan respons, hingga akhirnya menentukan tingkat resiliensi sistem (Gambar 2).



Gambar 2. Kerangka diagnostik hubungan antara tekanan/gangguan, keterpaparan dan sensitivitas, dampak, kapasitas adaptif, respons, dan resiliensi dalam sistem sosial-ekologi pesisir.

Sumber: hasil sintesis penulis berdasarkan Adger (2006), Smit dan Wandel (2006), Gallopín (2006), Walker et al. (2004), Folke et al. (2010), dan Cinner et al. (2018).

Rangkaian ini tidak berarti bahwa kapasitas adaptif dan resiliensi merupakan kebalikan langsung dari kerentanan. Sistem dengan kapasitas adaptif tinggi cenderung memiliki lebih banyak pilihan untuk mengurangi dampak, tetapi hasil akhirnya tetap bergantung pada intensitas tekanan, kondisi awal ekosistem, distribusi sumber daya, kelembagaan, dan jenis respons yang dilakukan. Gallopín (2006) menekankan bahwa kerentanan, resiliensi, dan kapasitas adaptif merupakan konsep yang saling berkaitan namun berasal dari tradisi analisis yang berbeda, sehingga hubungan antarvariabel perlu ditetapkan secara eksplisit dalam setiap kajian SES.

Berdasarkan sintesis tersebut, sistem pesisir yang resilien bukanlah sistem yang tidak mengalami perubahan, tetapi sistem yang mampu mempertahankan fungsi penting, belajar dari perubahan, menyesuaikan respons, dan apabila diperlukan mengubah cara pengelolaannya tanpa kehilangan kemampuan dasar untuk menopang proses ekologis dan kesejahteraan manusia. Pemahaman mengenai kapasitas tersebut membutuhkan bukti mengenai apa yang berubah, seberapa besar perubahan terjadi, siapa yang terdampak, dan respons apa yang tersedia. Karena itu, pembahasan berikutnya diarahkan pada proses observasi, pembentukan bukti, dan pemahaman sistem sosial-ekologi pesisir.

Dari Observasi menuju Bukti dan Pemahaman Sistem

Pengelolaan sistem sosial-ekologi pesisir memerlukan kemampuan untuk mengenali perubahan sebelum menentukan respons yang tepat. Namun, keberadaan data tidak dengan sendirinya menghasilkan pemahaman terhadap sistem. Pengukuran kualitas air, tutupan habitat, kelimpahan biota, perubahan garis pantai, hasil tangkapan, pendapatan masyarakat, atau persepsi pengguna sumber daya pada dasarnya merupakan hasil observasi terhadap sebagian atribut sistem. Informasi tersebut baru memperoleh makna pengelolaan ketika diseleksi, dibandingkan, diinterpretasikan, dan ditempatkan dalam konteks hubungan sosial-ekologis yang sedang dianalisis. Dengan demikian, observasi menyediakan data, indikator menyederhanakan informasi penting, bukti menunjukkan pola perubahan yang dapat dipertanggungjawabkan, sedangkan pemahaman terbentuk ketika bukti tersebut digunakan



untuk menjelaskan hubungan antara kondisi ekosistem, tekanan, konsekuensi sosial, dan kemungkinan respons.

Observasi terhadap SES pesisir karena itu perlu mencakup dimensi ekologis dan sosial. Pemantauan ekologis dapat menggunakan kondisi habitat, biodiversitas, kualitas air, produktivitas, kelimpahan spesies, atau indikator biologis lainnya untuk mendeteksi perubahan lingkungan. Pemantauan ikan karang di Selat Sempu, misalnya, digunakan untuk menilai kondisi komunitas ikan sebagai salah satu indikator resiliensi terumbu karang (Bintoro et al., 2023). Di Estuari Manyar, informasi kualitas perairan ditempatkan bersama konteks reklamasi industri sehingga pengukuran lingkungan tidak hanya mendeskripsikan parameter perairan, tetapi menjadi bukti yang relevan terhadap perencanaan dan pengelolaan pesisir (Isdianto et al., 2026). Contoh tersebut menunjukkan bahwa nilai suatu parameter tidak hanya terletak pada hasil pengukurannya, tetapi pada kemampuannya menjawab pertanyaan mengenai kondisi apa yang berubah dan tekanan apa yang berkaitan dengan perubahan tersebut.

Dimensi sosial melengkapi informasi ekologis dengan menjelaskan siapa yang menggunakan sumber daya, bagaimana sumber daya dimanfaatkan, seberapa besar ketergantungan terhadap jasa ekosistem, serta bagaimana masyarakat memahami dan merespons perubahan. Informasi mengenai mata pencaharian, akses sumber daya, intensitas pemanfaatan, perilaku, persepsi risiko, pengetahuan, jaringan sosial, dan kelembagaan dapat membantu menjelaskan mengapa perubahan ekologis menghasilkan konsekuensi yang berbeda bagi kelompok masyarakat yang berbeda. Karena itu, indikator sosial dan ekologis sebaiknya tidak dikembangkan sebagai dua kelompok informasi yang berdiri sendiri. Pengembangan indikator SES justru ditujukan untuk mengenali hubungan antara proses ekologis, sosial, dan ekonomi serta membantu menjelaskan dinamika sistem secara terintegrasi (Vugteveen et al., 2015).

Selain observasi lapangan, penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (GIS) memperluas kemampuan untuk mengamati perubahan pada skala ruang dan waktu yang sulit dicapai melalui survei lapangan semata. Informasi satelit dapat digunakan untuk memetakan perubahan habitat, penggunaan lahan, garis pantai, kondisi vegetasi, suhu permukaan, produktivitas perairan, dan berbagai karakteristik lingkungan lainnya. Analisis perubahan mangrove di Pulau Lombok, misalnya, mengintegrasikan citra Landsat 8 dan GIS untuk membedakan area mangrove yang bertahan, mengalami kehilangan, dan beregenerasi antara 2019 dan 2024. Hasilnya tidak berhenti pada perubahan luas total, tetapi menghasilkan informasi spasial mengenai lokasi kehilangan dan regenerasi yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi area prioritas konservasi dan restorasi (Isdianto et al., 2026).

Contoh serupa terlihat pada penggunaan data oseanografi dalam perikanan. Sambah et al. (2026) mengintegrasikan suhu permukaan laut, klorofil-a, dan informasi hasil tangkapan untuk membentuk *Pelagic Habitat Index* (PHI). Data oseanografi yang semula berupa variabel terpisah kemudian diterjemahkan menjadi kelas kesesuaian habitat yang memiliki representasi spasial lebih mudah diinterpretasikan untuk pemilihan daerah penangkapan dan perencanaan berbasis ekosistem. Studi tersebut juga secara eksplisit membatasi interpretasinya sebagai pemetaan kesesuaian berbasis indikator dan tidak mengklaim sebagai sistem prediksi *real-time*. Contoh ini memperlihatkan perkembangan penting dari *mapping* → *monitoring* → *interpretation* → *decision-relevant information*, yaitu ketika produk geospasial tidak berhenti sebagai peta, tetapi digunakan untuk memperjelas kondisi yang relevan bagi pengelolaan.

Perubahan data menjadi informasi yang berguna sangat bergantung pada pemilihan indikator. Indikator berfungsi menyederhanakan fenomena kompleks menjadi atribut yang dapat diamati dan dibandingkan, tetapi penyederhanaan tersebut selalu melibatkan pilihan mengenai apa yang dianggap penting. Karena itu, indikator yang baik tidak cukup hanya mudah diukur; indikator perlu relevan dengan pertanyaan pengelolaan, sensitif terhadap perubahan yang ingin dideteksi, dapat diinterpretasikan, dan memiliki hubungan yang jelas dengan tindakan yang mungkin dilakukan. Beliaeff dan Pelletier (2011) menekankan bahwa penggunaan indikator untuk pengelolaan lingkungan laut sebaiknya dimulai dari pertanyaan pengelolaan dan kriteria kinerja, sehingga pemilihan indikator memiliki hubungan eksplisit dengan keputusan yang akan didukung.



Pemahaman sistem juga tidak harus dibangun hanya dari pengetahuan ilmiah formal. Pengetahuan lokal dan pengalaman pengguna sumber daya dapat memberikan informasi mengenai perubahan musim, lokasi pemanfaatan, perubahan kelimpahan sumber daya, kondisi habitat, gangguan, dan respons masyarakat yang tidak selalu tertangkap oleh pengamatan jangka pendek. Fontalvo-Herazo et al. (2007) menunjukkan bahwa indikator pengelolaan pesisir dapat dikembangkan secara partisipatif sehingga prioritas masyarakat menjadi bagian dalam pemilihan indikator lingkungan, sosial, ekonomi, dan tata kelola. Demikian pula, pendekatan *group model building* menunjukkan bahwa keterlibatan pemangku kepentingan dapat membantu mengidentifikasi hubungan antarkomponen SES sekaligus membangun pemahaman bersama terhadap persoalan pengelolaan (Vugteveen et al., 2015). Dengan demikian, pengetahuan lokal tidak diposisikan sebagai pengganti data ilmiah, tetapi sebagai sumber informasi yang dapat melengkapi, mengontekstualisasikan, dan dalam kondisi tertentu menguji interpretasi terhadap bukti ilmiah.

Integrasi berbagai sumber informasi menjadi penting karena masing-masing memiliki keterbatasan. Pengukuran lapangan memberikan informasi detail tetapi sering memiliki cakupan spasial atau temporal terbatas; penginderaan jauh memberikan cakupan luas tetapi tidak selalu menangkap proses sosial atau kondisi ekologis pada skala mikro; survei sosial menjelaskan pengalaman dan perilaku aktor tetapi dapat dipengaruhi oleh desain pertanyaan dan karakter responden; sedangkan pengetahuan lokal memiliki kedalaman kontekstual tetapi tidak selalu tersedia dalam format yang mudah dibandingkan. Oleh karena itu, triangulasi antara *monitoring* ekologis, informasi sosial-ekonomi, data geospasial, dan pengetahuan lokal dapat memberikan pemahaman SES yang lebih kuat dibandingkan penggunaan satu sumber bukti secara terpisah.

Kualitas pemahaman juga bergantung pada bagaimana ketidakpastian (*uncertainty*) dikomunikasikan. Ketidakpastian dapat berasal dari keterbatasan sampel, resolusi spasial, periode pengamatan, kesalahan klasifikasi, variabilitas alamiah, hubungan antarvariabel yang lemah, maupun keterbatasan dalam menetapkan sebab perubahan. Temuan perubahan spasial, korelasi lingkungan, atau perbedaan kondisi antarwilayah karena itu tidak selalu membuktikan hubungan kausal. Studi habitat tuna Sambah et al. (2026), misalnya, melaporkan daya jelas model GAM yang rendah tetapi tetap menggunakan PHI sebagai produk indikator spasial yang interpretatif, sekaligus secara eksplisit tidak menggunakannya untuk mengklaim kemampuan forecasting *real-time*. Transparansi semacam ini penting karena bukti yang berguna bagi pengelolaan tidak harus bebas dari ketidakpastian, tetapi ketidakpastian harus diketahui agar bukti tidak digunakan melampaui kemampuan datanya.

Berdasarkan sintesis tersebut, proses membangun pemahaman sistem dapat diringkas sebagai:



Gambar 3. Alur konseptual dari observasi menuju pemahaman sistem dalam sistem sosial-ekologi pesisir.

Sumber: dikembangkan oleh penulis berdasarkan sintesis Beliaeff dan Pelletier (2011), Fontalvo-Herazo et al. (2007), Vugteveen et al. (2015), dan Sambah et al. (2026).

Rangkaian tersebut menunjukkan bahwa pemahaman sosial-ekologis tidak diperoleh hanya dengan menambah jumlah data, tetapi dengan memilih informasi yang relevan, mengintegrasikan berbagai sumber bukti, mempertimbangkan konteks ruang dan waktu, serta menjelaskan ketidakpastian. Data yang banyak belum tentu menghasilkan keputusan yang lebih baik apabila hubungan antara informasi, proses sosial-ekologis, dan kebutuhan pengelolaan tidak dipahami. Sebaliknya, bukti yang



relevan dan dapat diinterpretasikan dapat membantu menunjukkan apa yang berubah, mengapa perubahan penting, siapa yang terdampak, dan bagian sistem mana yang memerlukan respons. Tahap berikutnya karena itu bukan lagi sekadar menghasilkan informasi, tetapi menerjemahkan pemahaman tersebut menjadi keputusan, tindakan, pembelajaran, dan pengelolaan adaptif, yang dibahas melalui C-SEAP pada bagian selanjutnya.

3.5. Dari Pemahaman menuju Pengelolaan Adaptif: C-SEAP sebagai Jalur Konseptual

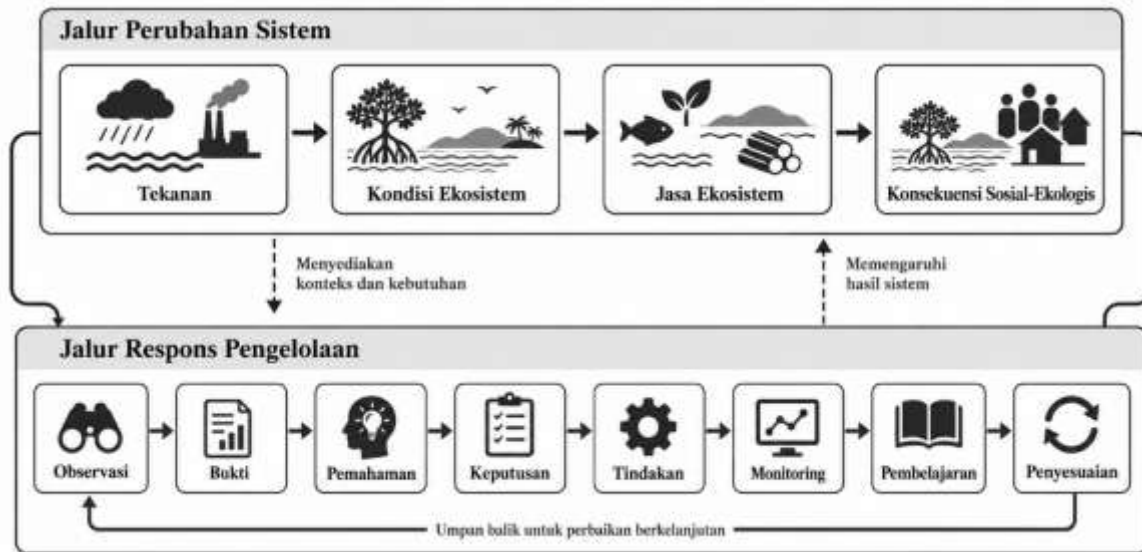
Pengelolaan adaptif tidak cukup dipahami sebagai kegiatan pemantauan yang dilakukan secara berulang. *Monitoring* hanya menjadi bagian dari pengelolaan adaptif apabila hasilnya digunakan untuk mengevaluasi konsekuensi tindakan, memperbaiki pemahaman terhadap sistem, dan menyesuaikan keputusan berikutnya. Williams dan Brown (2014) menekankan bahwa pengelolaan adaptif merupakan proses iteratif yang menghubungkan pengambilan keputusan, tindakan, pemantauan, penilaian, pembelajaran, dan penyesuaian pengelolaan dalam kondisi ketidakpastian. Dengan demikian, ciri utama pengelolaan adaptif bukan terletak pada banyaknya data yang dikumpulkan, tetapi pada keberadaan umpan balik antara apa yang dipelajari dan apa yang kemudian dilakukan.

Dalam sistem sosial-ekologi pesisir, kebutuhan terhadap pengelolaan adaptif menjadi lebih kuat karena kondisi ekosistem, aktivitas manusia, kelembagaan, teknologi, dan tekanan lingkungan dapat berubah secara bersamaan. Keputusan pengelolaan yang sesuai pada satu periode belum tentu tetap efektif ketika tekanan, kondisi habitat, pola pemanfaatan, atau kapasitas masyarakat berubah. Oleh sebab itu, pengelolaan tidak sebaiknya diposisikan sebagai tahap akhir setelah penelitian selesai, tetapi sebagai bagian dari proses pembelajaran yang terus berlangsung. Hubungan antara pembelajaran dan keputusan merupakan elemen fundamental pengelolaan adaptif karena tindakan pengelolaan menghasilkan konsekuensi yang selanjutnya dapat diamati dan digunakan untuk memperbaiki keputusan berikutnya (Williams & Brown, 2014; Fabricius & Cundill, 2014).

Proses tersebut juga memerlukan dimensi kelembagaan. Informasi ilmiah tidak secara otomatis berubah menjadi tindakan apabila tidak terdapat aktor, aturan, kewenangan, mekanisme koordinasi, dan kapasitas untuk menerapkannya. Folke et al. (2005) menunjukkan bahwa adaptive governance pada SES bergantung pada keterhubungan antara individu, organisasi, institusi, jaringan sosial, kepemimpinan, serta kemampuan mengintegrasikan berbagai bentuk pengetahuan. Karena itu, pengelolaan adaptif pesisir tidak hanya membutuhkan pembelajaran teknis mengenai kondisi ekosistem, tetapi juga pembelajaran sosial dan kelembagaan mengenai bagaimana keputusan dibuat, siapa yang terlibat, dan bagaimana tindakan dapat disesuaikan ketika kondisi berubah.

Berdasarkan sintesis pada Subbab 3.1–3.4, hubungan tersebut dalam kajian ini dirangkum melalui *Coastal Social-Ecological Evidence-to-Adaptation Pathway* (C-SEAP). C-SEAP dikembangkan sebagai jalur konseptual yang menjembatani dua proses yang selama ini sering dibahas secara terpisah, yaitu jalur perubahan sosial-ekologis dan jalur respons berbasis bukti. Jalur pertama menjelaskan bagaimana tekanan memengaruhi kondisi ekosistem, jasa ekosistem, dan konsekuensi bagi manusia. Jalur kedua menjelaskan bagaimana perubahan tersebut diamati, diterjemahkan menjadi bukti dan pemahaman, kemudian digunakan untuk mendukung keputusan, tindakan, pembelajaran, dan adaptasi.

Secara konseptual, jalur perubahan sistem dapat diringkas sebagai:



Gambar 4. Jalur konseptual *Coastal Social-Ecological Evidence-to-Adaptation Pathway* (C-SEAP) yang memperlihatkan keterkaitan antara jalur perubahan sistem dan jalur respons pengelolaan dalam sistem sosial-ekologi pesisir.

Sumber: hasil sintesis penulis berdasarkan Ostrom (2009), Folke et al. (2005, 2010), Williams dan Brown (2014), Refulio-Coronado et al. (2021), dan kajian ini.

Kedua jalur tersebut tidak berdiri sendiri. Tindakan pengelolaan dapat mengubah tekanan maupun kondisi ekosistem, sementara hasil tindakan tersebut menghasilkan informasi baru yang kembali masuk ke dalam proses observasi dan pembelajaran. Karena itu, C-SEAP ditempatkan sebagai jalur bersirkulasi (*iterative pathway*), bukan sebagai rantai sebab-akibat linear.

Dalam C-SEAP, pemahaman sistem menempati posisi penghubung antara pengetahuan dan keputusan. Bukti mengenai penurunan kualitas air, kehilangan mangrove, perubahan komunitas terumbu, atau perubahan hasil tangkapan belum secara otomatis menunjukkan tindakan apa yang harus dilakukan. Bukti tersebut perlu dibaca bersama dengan sumber tekanan, kelompok yang terdampak, kapasitas adaptif, keterbatasan kelembagaan, serta tujuan pengelolaan. Pada tahap inilah informasi berubah dari sekadar *evidence* menjadi *decision-relevant understanding*. Prinsip yang sama terlihat pada pemodelan habitat tuna Sambah et al. (2026), ketika data oseanografi diubah menjadi informasi spasial yang lebih relevan bagi perencanaan, meskipun interpretasinya tetap dibatasi oleh kemampuan model. Dalam konteks C-SEAP, logika tersebut diperluas dari data → informasi menjadi bukti → pemahaman → keputusan → adaptasi.

Keputusan selanjutnya diterjemahkan menjadi tindakan yang dapat berbeda menurut karakter masalah. Tekanan berupa pencemaran dapat membutuhkan pengendalian sumber pencemar dan *monitoring* kualitas air; degradasi habitat dapat membutuhkan perlindungan atau restorasi; tekanan wisata dapat membutuhkan zonasi dan pembatasan kapasitas pemanfaatan; sedangkan kerentanan sosial dapat membutuhkan diversifikasi mata pencaharian, penguatan kelembagaan, atau peningkatan akses terhadap informasi. C-SEAP tidak menetapkan satu tindakan yang berlaku universal. Fungsinya adalah membantu memastikan bahwa tindakan memiliki hubungan yang dapat dijelaskan dengan tekanan, kondisi sistem, bukti, dan tujuan pengelolaan.

Tahap berikutnya adalah *monitoring* dan pembelajaran. *Monitoring* dalam konteks ini tidak hanya mengukur apakah kondisi berubah setelah tindakan, tetapi membantu menjawab apakah tindakan bekerja sesuai tujuan, apakah terdapat dampak yang tidak diperkirakan, dan apakah asumsi awal mengenai sistem masih berlaku. Williams dan Brown (2014) menegaskan bahwa *monitoring* memperoleh nilai adaptif ketika digunakan untuk memperbarui pemahaman dan keputusan, bukan ketika hanya menghasilkan rangkaian data. Pembelajaran juga dapat terjadi pada dua tingkat:



pembelajaran teknis mengenai respons ekosistem terhadap tindakan dan pembelajaran sosial-kelembagaan mengenai tujuan, aturan, partisipasi, maupun cara keputusan dibuat.

Dengan demikian, adaptasi dalam C-SEAP bukan merupakan tahap akhir yang permanen, tetapi hasil sementara dari proses pengelolaan yang terus dievaluasi. Tindakan yang berhasil dapat dipertahankan atau diperluas, sedangkan tindakan yang tidak menghasilkan kondisi yang diharapkan perlu disesuaikan. Dalam beberapa kasus, perubahan dapat cukup direspons dengan penyesuaian teknis; pada kasus lain, perubahan yang lebih mendasar terhadap strategi pemanfaatan, kelembagaan, atau tujuan pengelolaan mungkin diperlukan. Prinsip ini konsisten dengan pemikiran resiliensi yang membedakan kemampuan untuk bertahan, pulih, beradaptasi, dan bertransformasi (Walker et al., 2004; Folke et al., 2010).

Untuk mempermudah penggunaan C-SEAP sebagai kerangka diagnostik, hubungan antara komponen sistem, pertanyaan utama, bukti, dan fungsi pengelolaan dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen diagnostik C-SEAP dalam sistem sosial-ekologi pesisir

Komponen	Pertanyaan diagnostik	Bukti/indikator yang relevan	Fungsi pengelolaan
Tekanan	Apa yang mendorong perubahan sistem?	Intensitas pemanfaatan, pencemaran, perubahan ruang, tekanan iklim	Identifikasi sumber tekanan
Kondisi ekosistem	Apa yang berubah pada lingkungan?	Habitat, biodiversitas, kualitas air, produktivitas	Menilai status dan perubahan
Konsekuensi sosial-ekologis	Siapa atau apa yang terdampak?	Jasa ekosistem, mata pencaharian, ketergantungan, risiko	Mengenali dampak dan kerentanan
Bukti dan pemahaman	Apa yang diketahui dan seberapa kuat bukti tersebut?	<i>Monitoring</i> , survei, GIS, remote sensing, pengetahuan lokal	Membangun pemahaman sistem
Keputusan dan tindakan	Respons apa yang relevan?	Tujuan, alternatif tindakan, kapasitas kelembagaan	Memilih dan melaksanakan respons
<i>Monitoring</i> dan pembelajaran	Apakah tindakan bekerja?	Indikator hasil, perubahan kondisi, evaluasi respons	Memperbarui pengetahuan dan keputusan
Adaptasi/resiliensi	Apakah sistem mampu mempertahankan fungsi atau menyesuaikan diri?	Pemulihan, perubahan strategi, kapasitas adaptif	Menyesuaikan pengelolaan berikutnya

Sumber: hasil sintesis penulis berdasarkan Ostrom (2009), Folke et al. (2005, 2010), Williams dan Brown (2014), Refulio-Coronado et al. (2021), dan hasil sintesis pada kajian ini.

C-SEAP juga dapat digunakan sebagai kerangka pembelajaran karena setiap tahap dapat diterjemahkan menjadi pertanyaan sederhana: Apa yang menekan sistem? Apa yang berubah? Siapa yang terdampak? Bukti apa yang tersedia? Apa yang dipahami? Apa yang harus dilakukan? Apa yang terjadi setelah tindakan? Apa yang perlu disesuaikan? Urutan tersebut membantu mahasiswa, peneliti, dan pengelola menghindari dua kecenderungan umum, yaitu melakukan pengukuran tanpa hubungan yang jelas dengan keputusan, atau menetapkan tindakan tanpa bukti yang memadai mengenai kondisi dan penyebab masalah.

Meskipun demikian, C-SEAP pada kajian ini belum dimaksudkan sebagai model kausal yang tervalidasi, sistem skoring, indeks resiliensi, atau instrumen keputusan operasional. Kerangka ini merupakan hasil sintesis konseptual yang bertujuan menyederhanakan hubungan antara tekanan, perubahan sistem, bukti, pembelajaran, dan adaptasi. Pengembangan indikator terukur, bobot, ambang batas, prosedur penilaian, serta pengujian pada berbagai tipe ekosistem dan konteks sosial perlu dilakukan pada penelitian selanjutnya. Pembatasan ini penting agar C-SEAP tetap berfungsi sebagai



conceptual pathway pada artikel ini, sekaligus menyediakan ruang bagi pengembangan dan validasi empiris pada penelitian berikutnya.

4. KESIMPULAN

Sistem sosial-ekologi pesisir merupakan sistem terkopel yang dibentuk oleh hubungan timbal balik antara kondisi dan proses ekosistem, aktivitas manusia, pemanfaatan jasa ekosistem, kelembagaan, serta respons pengelolaan. Tekanan antropogenik dan perubahan lingkungan tidak menghasilkan dampak yang seragam karena konsekuensinya dipengaruhi oleh keterpaparan, sensitivitas, ketergantungan masyarakat, kondisi awal ekosistem, serta kapasitas sistem untuk merespons perubahan. Oleh karena itu, kerentanan, kapasitas adaptif, dan resiliensi perlu dipahami sebagai konsep yang saling berkaitan tetapi tidak identik. Sistem pesisir yang resilien bukanlah sistem yang tidak mengalami perubahan, melainkan sistem yang mampu mempertahankan fungsi penting, pulih dari gangguan, menyesuaikan strategi, belajar, dan apabila diperlukan melakukan perubahan yang lebih mendasar tanpa kehilangan kemampuan menopang proses ekologis dan kesejahteraan manusia.

Kajian ini juga menunjukkan bahwa pengelolaan adaptif memerlukan lebih dari sekadar ketersediaan data. Observasi lapangan, *monitoring* ekologis, data sosial-ekonomi, penginderaan jauh, GIS, dan pengetahuan lokal baru memiliki nilai pengelolaan ketika dikembangkan menjadi indikator, bukti yang dapat dipertanggungjawabkan, dan pemahaman yang relevan bagi keputusan. Dengan demikian, proses pengelolaan perlu bergerak dari observasi menuju bukti, pemahaman, keputusan, tindakan, *monitoring*, pembelajaran, dan penyesuaian. Pendekatan tersebut memungkinkan ketidakpastian diperlakukan sebagai bagian dari proses pembelajaran, bukan sebagai alasan untuk memisahkan penelitian dari tindakan pengelolaan.

Berdasarkan sintesis tersebut, kajian ini mengembangkan *Coastal Social-Ecological Evidence-to-Adaptation Pathway* (C-SEAP) sebagai jalur konseptual yang menghubungkan perubahan sosial-ekologis dengan respons pengelolaan berbasis bukti. C-SEAP membantu menelusuri hubungan antara tekanan, kondisi ekosistem, jasa ekosistem, konsekuensi sosial-ekologis, bukti, pemahaman, keputusan, tindakan, pembelajaran, dan penyesuaian melalui mekanisme umpan balik. Kerangka ini dapat digunakan sebagai alat konseptual dan pembelajaran untuk membantu mahasiswa, peneliti, maupun pengelola menghubungkan data dengan kebutuhan keputusan. Namun, C-SEAP pada tahap ini belum merupakan model kausal, indeks, sistem skoring, atau instrumen keputusan yang telah tervalidasi. Pengembangan selanjutnya perlu diarahkan pada penyusunan indikator operasional, pengujian empiris, serta penerapan komparatif pada berbagai tipe ekosistem dan konteks sosial pesisir.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 268–281. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>
- Beliaeff, B., & Pelletier, D. (2011). A general framework for indicator design and use with application to the assessment of coastal water quality and marine protected area management. *Ocean & Coastal Management*, 54(1), 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2010.10.037>
- Berkes, F., & Folke, C. (Eds.). (1998). *Linking social and ecological systems: Management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge University Press.
- Bintoro, G., Isdianto, A., Harahab, N., Kurniawan, A., Wicaksono, A. D., Maharditha, R., Fathah, A. L., Putri, B. M., Haykal, M. F., Asadi, M. A., Setyanto, A., Lelono, T. D., Luthfi, O. M., & Pratiwi, D. C. (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>
- Cinner, J. E., Adger, W. N., Allison, E. H., Barnes, M. L., Brown, K., Cohen, P. J., Gelcich, S., Hicks, C. C., Hughes, T. P., Lau, J., Marshall, N. A., & Morrison, T. H. (2018). Building adaptive capacity to climate change in tropical coastal communities. *Nature Climate Change*, 8, 117–123. <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0065-x>



- Fabricius, C., & Cundill, G. (2014). Learning in adaptive management: Insights from published practice. *Ecology and Society*, 19(1), 29. <https://doi.org/10.5751/ES-06263-190129>
- Ferro-Azcona, H., Espinoza-Tenorio, A., Calderón-Contreras, R., Ramenzoni, V. C., Gómez País, M. M., & Mesa-Jurado, M. A. (2019). Adaptive capacity and social-ecological resilience of coastal areas: A systematic review. *Ocean & Coastal Management*, 173, 36–51. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.01.005>
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), 253–267. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>
- Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*, 15(4), 20. <https://doi.org/10.5751/ES-03610-150420>
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 30, 441–473. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144511>
- Fontalvo-Herazo, M. L., Glaser, M., & Lobato-Ribeiro, A. (2007). A method for the participatory design of an indicator system as a tool for local coastal management. *Ocean & Coastal Management*, 50(10), 779–795. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2007.03.005>
- Gallopín, G. C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16(3), 293–303. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004>
- Gari, S. R., Newton, A., & Icely, J. D. (2015). A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems. *Ocean & Coastal Management*, 103, 63–77. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.11.013>
- Gissi, E., Manea, E., Mazaris, A. D., Frascchetti, S., Almpnidou, V., Bevilacqua, S., Coll, M., Guarnieri, G., Lloret-Lloret, E., Pascual, M., Petza, D., Rilov, G., Schonwald, M., Stelzenmüller, V., & Katsanevakis, S. (2021). A review of the combined effects of climate change and other local human stressors on the marine environment. *Science of the Total Environment*, 755, 142564. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142564>
- Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V., Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno, J. F., Casey, K. S., Ebert, C., Fox, H. E., Fujita, R., Heinemann, D., Lenihan, H. S., Madin, E. M. P., Perry, M. T., Selig, E. R., Spalding, M., Steneck, R., & Watson, R. (2008). A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319(5865), 948–952. <https://doi.org/10.1126/science.1149345>
- Isdianto, A., Pangestu, W. S., Yamindago, A., Dewi, C. S. U., Aliviyanti, D., Luthfi, O. M., Setyoningrum, D., Fathah, A. L., Putri, B. M., & Puspitasari, I. D. (2024). The occurrence of marine debris and its impacts on coral reefs in the Sempu Island Nature Reserve, Malang, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, 25(9), 70–80. <https://doi.org/10.12911/22998993/190514>
- Isdianto, A., Musalima, F. P. A., Setyanto, A., Rudianto, Fathah, A. L., Yanuhar, U., Caesar, N. R., Utaminingsih, A., Maskan, M., Putri, B. M., & Pratiwi, D. C. (2025). Sustainable management of coral reefs and marine tourism at Kondang Merak Beach Indonesia. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 20(7), 2741–2752. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.200701>
- Isdianto, A., Wibowo, K. A., Dewi, C. S. U., Rudianto, Putra, M. N. E., Setyanto, A., Lelono, T. D., Bintoro, G., Sunardi, Yanuhar, U., Caesar, N. R., Fathah, A. L., Putri, B. M., & Luthfi, O. M. (2025). Macroinvertebrate diversity and tourism impacts in coral reef ecosystems: Comparative analysis and sustainable management implications from Tabuhan Island and Bangsring Underwater Beach, Indonesia. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 20(10), 4267–4277. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.201017>
- Isdianto, A., Fathah, A. L., Putra, M. N. E., & Putri, B. M. (2026). Geospatial change detection of mangrove loss, persistence, and regeneration in Lombok Island, Indonesia (2019–2024) using



- geomatic technologies. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 16(2), 34270–34275. <https://doi.org/10.48084/etasr.13896>
- Isdianto, A., Manullang, M. J., Luthfi, O. M., Rudianto, Aida, G. R., Caesar, N. R., Arisandi, D., Illahi, R. W., Fathah, A. L., Utaminingsih, A., Maskan, M., & Putri, B. M. (2026). Coastal planning and water quality management under industrial reclamation in the Manyar Estuary, Gresik, Indonesia. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 21(2), 631–642. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.210215>
- Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S. R., Alberti, M., Folke, C., Moran, E., Pell, A. N., Deadman, P., Kratz, T., Lubchenco, J., Ostrom, E., Ouyang, Z., Provencher, W., Redman, C. L., Schneider, S. H., & Taylor, W. W. (2007). Complexity of coupled human and natural systems. *Science*, 317(5844), 1513–1516. <https://doi.org/10.1126/science.1144004>
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325(5939), 419–422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Pratama, V. D., Dewi, C. S. U., Sukandar, Purwanti, P., Isdianto, A., Lutfi, O. M., & Sunardi. (2025). Sustainable marine tourism planning in South Malang: A feasibility and zoning approach for balanced development. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 20(4), 1515–1523. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.200414>
- Refulio-Coronado, S., Lacasse, K., Dalton, T., Humphries, A., Basu, S., Uchida, H., & Uchida, E. (2021). Coastal and marine socio-ecological systems: A systematic review of the literature. *Frontiers in Marine Science*, 8, 648006. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.648006>
- Rudianto, R., Darmawan, V., Isdianto, A., & Bintoro, G. (2022). Restoration of coastal ecosystems as an approach to the integrated mangrove ecosystem management and mitigation and adaptation to climate changes in north coast of East Java. *Journal of Coastal Conservation*, 26, 37. <https://doi.org/10.1007/s11852-022-00865-4>
- Sambah, A. B., Sunardi, Fuad, Rihmi, M. K., Pratama, V. D., Hajisamae, S., & Khongpuang, S. (2026). Modelling tuna habitat suitability in response to monsoon-driven oceanographic variability using remote sensing and a Pelagic Habitat Index. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 21(1), 59–70. <https://doi.org/10.18280/ijdne.210106>
- Smit, B., & Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 282–292. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Torraco, R. J. (2005). Writing integrative literature reviews: Guidelines and examples. *Human Resource Development Review*, 4(3), 356–367. <https://doi.org/10.1177/1534484305278283>
- Vugteveen, P., Rouwette, E. A. J. A., Stouten, H., van Katwijk, M. M., & Hanssen, L. (2015). Developing social-ecological system indicators using group model building. *Ocean & Coastal Management*, 109, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.02.011>
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2), 5.
- Whitemore, R., & Knafl, K. (2005). The integrative review: Updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, 52(5), 546–553. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x>
- Williams, B. K., & Brown, E. D. (2014). Adaptive management: From more talk to real action. *Environmental Management*, 53, 465–479. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0205-7>