



**PEMULIHAN EKOSISTEM PESISIR GILI LABAK: TRANSPLANTASI KARANG,
PENANAMAN 100 BIBIT CEMARA, DAN AKSI BERSIH PANTAI**

Gili Labak Coastal Ecosystem Restoration: Coral Transplantation, Planting Of 100 Pine Seedlings, And Beach Cleanup Action

Achmad Fachruddin Syah^{1*}, Herlambang Aulia Rahman¹, Hidayu Al-Saari², Abdul Rozak Bachri¹, Dimas Chandra Winata¹, M. Athoillah An-Nafi¹, Nur Shamira Jamil Nasri², Nur Fatin Aini Fekri Abidin²

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Trunojoyo Madura, ²Halal Industry Management and Sciences, International Islamic University Malaysia

Jl. Raya Telang, PO BOX 2 Kamal, Kabupaten Bangkalan, Jawa Timur 69162

*Alamat Korespondensi: fachrudin@trunojoyo.ac.id

(Tanggal Submission: 7 Oktober 2025, Tanggal Accepted : 28 Januari 2026)



Kata Kunci :

*Bersih-Bersih Pantai,
Transplantasi Karang, Pulau Gili Labak,
Pengelolaan Ekosistem Laut,
Penanaman Bibit Cemara*

Abstrak :

Pulau Gili Labak merupakan salah satu destinasi wisata bahari di Kabupaten Sumenep yang memiliki ekosistem pesisir yang rentan terhadap tekanan aktivitas pariwisata. Peningkatan jumlah wisatawan tanpa pengelolaan lingkungan yang baik menyebabkan kerusakan terumbu karang dan abrasi pantai. Kondisi ini menurunkan kualitas lingkungan dan keindahan pesisir. Upaya konservasi melalui transplantasi karang dan penanaman pohon cemara diperlukan untuk menjaga keberlanjutan ekosistem dan pariwisata. Dalam upaya menjaga keberlanjutan ekosistem ini, kerangka "spider" merupakan salah satu metode transplantasi yang dapat diandalkan karena strukturnya yang adaptif dan mendukung pertumbuhan karang secara efisien. Kegiatan dilakukan dengan melibatkan masyarakat, pelajar, dan pemerintah desa. Metode yang digunakan meliputi edukasi lingkungan, transplantasi karang menggunakan rangka spider, serta penanaman 100 bibit pohon cemara sebagai upaya rehabilitasi ekosistem pesisir dan wisata berkelanjutan. Kegiatan pengabdian ini berjalan dengan baik sesuai rencana. Sebanyak sepuluh rangka spider berhasil dipasang di perairan dangkal untuk kegiatan transplantasi karang, sementara seratus bibit pohon cemara ditanam di area pesisir yang rawan abrasi. Partisipasi aktif masyarakat, kelompok pengawas (Pokmaswas), serta siswa SMP Negeri 2 Saronggi turut mendukung keberhasilan kegiatan. Lingkungan pesisir terlihat lebih bersih setelah dilakukan aksi bersih pantai. Kegiatan ini memperlihatkan keterpaduan antara konservasi laut dan darat dalam mendukung pengelolaan wisata bahari berkelanjutan. Denga kondisi yang lebih

baik, diharapkan dapat meningkatkan wisatawan yang berkunjung dan taraf perekonomian masyarakat yang ada di Pulau Gili Labak.

Key word :

Beach Clean-Up, Coral Transplantation, Gili Labak Island, Marine Ecosystem Management, Pine Seedling Planting

Abstract :

Gili Labak Island is one of the marine tourism destinations in Sumenep Regency that has a coastal ecosystem vulnerable to the pressures of tourism activities. The increase in the number of tourists without proper environmental management has caused damage to coral reefs and coastal erosion. This condition has reduced the quality of the environment and the beauty of the coastline. Conservation efforts through coral transplantation and casuarina tree planting are needed to maintain the sustainability of the ecosystem and tourism. In an effort to maintain the sustainability of this ecosystem, the "spider" frame is one of the most reliable transplantation methods due to its adaptive structure and efficient support for coral growth. The activities were carried out with the involvement of the community, students, and the village government. The methods used included environmental education, coral transplantation using spider frames, and the planting of 100 casuarina seedlings as an effort to rehabilitate the coastal ecosystem and sustainable tourism. These community service activities went well according to plan. Ten spider frames were successfully installed in shallow waters for coral transplantation, while one hundred casuarina seedlings were planted in coastal areas prone to abrasion. The active participation of the community, the supervisory group (Pokmaswas), and students from SMP Negeri 2 Saronggi contributed to the success of the activity. The coastal environment looks cleaner after the beach clean-up. This activity demonstrates the integration of marine and terrestrial conservation in supporting sustainable marine tourism management. With improved conditions, it is hoped that this will increase the number of tourists visiting and the economic level of the community on Gili Labak Island.

Panduan sitasi / citation guidance (APPA 7th edition) :

R Syah, A. F. *, Rahman, H. A., Al-Saari, H., Bachri, A. R., Winata, D. C., An-Nafi', M. A., Nasri, N. S. J., & Abidin, N. F. A. F. (2026). Pemulihan Ekosistem Pesisir Gili Labak: Transplantasi Karang, Penanaman 100 Bibit Cemara, dan Aksi Bersih Pantai. *Jurnal Abdi Insani*, 13(1), 494-510. <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v13i1.3321>

PENDAHULUAN

Dengan pesatnya perkembangan kehidupan sosial manusia, intensitas manusia dalam membangun kembali lingkungan alam secara bertahap meningkat, yang menyebabkan tekanan tertentu pada lingkungan ekologis. Khususnya di lingkungan kelautan, ekonomi kelautan menempati tempat penting dalam perekonomian secara keseluruhan (Warne *et al.*, 2019). Proyek-proyek utamanya yang terkait dengan ekonomi kelautan berada di wilayah lepas pantai, seperti pelayaran laut, pengembangan pesisir, dan pariwisata, yang merupakan prioritas utama dalam pengembangan ekonomi kelautan (Zhu *et al.*, 2019). Namun, dengan berkembangnya ekonomi kelautan, serangkaian masalah lingkungan ekologis tidak dapat dihindari. Dengan pesatnya perkembangan pariwisata di wilayah laut, lingkungan ekologi laut telah dikembangkan dan dimanfaatkan dalam skala besar, dan sejumlah besar polutan telah dibuang ke laut, yang telah menyebabkan penurunan kualitas air, kerusakan terumbu karang, dan kerusakan ekosistem.

Pulau Gili Labak merupakan studi kasus yang unik karena statusnya yang sedang berkembang sebagai tujuan wisata bahari baru di Kabupaten Sumenep. Berdasarkan hasil survei Dinas Kelautan dan



Perikanan Provinsi Jawa Timur (2023), tutupan karang hidup di sekitar perairan Gili Labak hanya mencapai 38–45%, menunjukkan kondisi cukup baik namun rentan terhadap tekanan aktivitas wisata. Aktivitas snorkeling dan penggunaan perahu motor tanpa pengawasan telah menimbulkan tekanan pada ekosistem terumbu karang, terutama di sisi barat pulau yang menjadi titik favorit wisatawan. Selain itu, sebagian nelayan masih menggunakan alat tangkap tradisional seperti bubu dan jaring insang, yang berpotensi menimbulkan gesekan dengan substrat karang (Akhmad *et al.*, 2018). Data dari Dinas Pariwisata Kabupaten Sumenep (2023) menunjukkan bahwa jumlah wisatawan yang berkunjung mencapai sekitar 7.000 orang per tahun, meningkat hampir dua kali lipat dibandingkan tahun 2020. Kondisi ini sejalan dengan temuan Lin (2022) dan Jubaedah dan Anas (2019) yang menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas wisata bahari berdampak terhadap komunitas bentik dan penurunan tutupan karang di beberapa kawasan perairan tropis. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengelolaan ekowisata berbasis konservasi melalui kolaborasi antara masyarakat, pemerintah, dan akademisi untuk menjaga keberlanjutan sumber daya pesisir di Pulau Gili Labak.

Ekosistem terumbu karang memainkan peran penting dalam keberagaman hayati laut karena memberikan habitat bagi banyak spesies ikan dan makhluk laut lainnya. Namun, polusi, perubahan iklim, dan tindakan manusia seperti penangkapan ikan dengan bahan peledak dan pencemaran laut telah menyebabkan kualitas terumbu karang menurun drastis dalam beberapa dekade terakhir (Hughes *et al.*, 2017). Kehidupan manusia, terutama di bidang perikanan dan pariwisata, diancam oleh kehilangan terumbu karang ini, yang mengancam keberlanjutan ekosistem laut yang bergantung padanya. Akibatnya, transplantasi terumbu karang adalah salah satu upaya yang sedang dilakukan untuk memulihkan dan melestarikan terumbu karang (Wellington *et al.*, 2020). Untuk membantu pemulihan dan regenerasi terumbu karang, kegiatan transplantasi terumbu karang sangat penting untuk dilakukan. Dalam kegiatan transplantasi fragmen karang ditransfer dari terumbu yang sehat ke daerah yang rusak atau terancam. Teknologi ini telah digunakan secara global untuk mempercepat pemulihan karang yang membutuhkan waktu yang lama untuk tumbuh secara alami. Beberapa studi menunjukkan bahwa transplantasi terumbu karang dapat meningkatkan produktivitas koloni karang, memperbaiki ekosistem, dan meningkatkan keragaman hayati (Rinkevich, 2019). Pemilihan lokasi yang tepat, metode yang digunakan, dan pemeliharaan fragmen karang setelah dipindahkan semua memainkan peran penting dalam keberhasilan transplantasi ini.

Dalam kegiatan pengabdian ini, teknologi *spider* digunakan untuk kegiatan transplantasi terumbu karang. Teknologi *spider* menawarkan sejumlah kelebihan yang membuatnya menjadi salah satu metode efektif dalam rehabilitasi ekosistem karang. Lokasi transplantasi dilakukan pada kedalaman 3–5 meter di perairan dengan arus sedang dan energi gelombang rendah, kondisi yang dinilai ideal untuk pertumbuhan karang dan meminimalkan risiko kerusakan struktur (Latypov, 2024a; Edwards & Clark, 1998). Struktur *spider* memiliki desain modular dengan bentuk radial menyerupai jaring laba-laba yang menyediakan permukaan luas bagi fragmen karang untuk menempel dan tumbuh. Desain ini memungkinkan distribusi cahaya dan nutrisi secara merata serta tetap stabil di dasar laut meskipun terdapat arus yang berubah-ubah. Untuk menjaga daya tahan di lingkungan laut, rangka *spider* dibuat dari besi yang dilapisi cat antikorosi berbasis epoksi laut (*marine-grade epoxy coating*), yang mampu menahan oksidasi selama lebih dari satu tahun sebelum dilakukan pengecekan ulang atau pelapisan kembali. Pemeliharaan dilakukan secara berkala untuk memastikan tidak terjadi degradasi material dan untuk membersihkan pertumbuhan alga atau organisme pengganggu di permukaan rangka. Menurut Bayraktarov *et al.* (2020), metode *spider* terbukti mendukung pertumbuhan karang yang lebih cepat dan memberikan tingkat kelangsungan hidup yang lebih tinggi pada area dengan kondisi terdegradasi. Dengan demikian, penerapan metode ini di Gili Labak dinilai sesuai dengan karakteristik lingkungan lokal dan mendukung efektivitas kegiatan restorasi ekosistem terumbu karang secara berkelanjutan.

Meskipun memiliki banyak kelebihan, teknologi *spider* juga menghadapi sejumlah kekurangan dan tantangan yang perlu dipertimbangkan. Pertama, biaya awal untuk produksi dan pemasangan struktur *spider* relatif tinggi, terutama jika menggunakan material berkualitas seperti *stainless steel*

atau resin. Hal ini dapat menjadi kendala bagi program restorasi berskala besar yang membutuhkan sumber daya finansial signifikan. Kedua, keberhasilan metode ini sangat bergantung pada kondisi lingkungan lokal, seperti tingkat sedimentasi, kualitas air, dan stabilitas substrat dasar laut. Jika kondisi lingkungan tidak mendukung, misalnya karena sedimentasi tinggi atau polusi, maka tingkat keberhasilan transplantasi dapat menurun. Ketiga, teknologi *spider* umumnya efektif hanya pada area kecil hingga menengah, sehingga sulit diterapkan pada skala yang lebih luas tanpa investasi tambahan. Keempat, struktur *spider* memerlukan pemeliharaan berkala untuk memastikan stabilitas dan ketahanannya terhadap korosi atau degradasi material. Oleh karena itu, dalam praktik lapangan di Gili Labak diterapkan beberapa langkah mitigasi, seperti penggunaan pelapisan antikoroisi berbasis *marine-grade epoxy* untuk melindungi rangka besi dari oksidasi, penerapan sistem jangkar tiga titik (*three-point anchoring*) untuk menjaga posisi struktur agar tetap stabil di dasar laut, serta pembersihan alga (*algae scrubbing*) secara berkala guna mencegah penutupan permukaan karang muda oleh pertumbuhan alga. Menurut Hein *et al.* (2022), keberhasilan teknologi ini sangat bergantung pada manajemen yang adaptif dan monitoring rutin. Dengan demikian, kombinasi antara inovasi teknis dan strategi mitigasi ini dapat meningkatkan efektivitas dan keberlanjutan program restorasi ekosistem terumbu karang.

Penanaman pohon cemara memiliki hubungan erat dengan pelestarian terumbu karang karena perannya dalam mengurangi erosi pantai, menyaring sedimen, dan meningkatkan stabilitas ekosistem pesisir. Akar pohon cemara mampu menahan pasir dan tanah di daerah pesisir, sehingga mengurangi laju erosi akibat gelombang dan angin. Proses ini berkontribusi dalam menekan jumlah sedimen yang terbawa ke laut, yang dapat mengurangi kekeruhan air. Kekeruhan yang tinggi dapat menghambat penetrasi cahaya matahari yang diperlukan oleh zooxanthellae dalam proses fotosintesis terumbu karang. Dengan demikian, keberadaan vegetasi pesisir seperti cemara laut (*Casuarina equisetifolia*) mendukung kesehatan ekosistem terumbu karang dengan menjaga kejernihan perairan dan mengurangi tekanan lingkungan akibat sedimen berlebih (Mittal *et al.*, 2022; Perveen *et al.*, 2011).

Selain itu, pohon cemara laut juga bertindak sebagai pelindung alami terhadap dampak perubahan iklim, seperti peningkatan frekuensi badai dan kenaikan muka air laut. Vegetasi ini membantu meredam energi gelombang sebelum mencapai pantai, sehingga mengurangi dampak fisik terhadap terumbu karang di dekat pantai. Struktur akar dan serasah daunnya juga berperan dalam meningkatkan kualitas tanah dan mendukung keanekaragaman hayati pesisir. Dengan meningkatkan stabilitas ekosistem pesisir, pohon cemara tidak hanya melindungi terumbu karang secara tidak langsung, tetapi juga membantu dalam rehabilitasi ekosistem yang terdampak oleh perubahan lingkungan dan aktivitas manusia (Ramezani *et al.*, 2012; Sabir *et al.*, 2009).

Keberhasilan program pemulihan terumbu karang melalui transplantasi dan penanaman cemara laut sangat bergantung pada kolaborasi antara ilmuwan, pemerintah, masyarakat lokal, serta sektor swasta. Inisiatif pemulihan ini memerlukan dukungan dana, riset, serta kebijakan yang mendukung pelestarian ekosistem pesisir dan laut. Dalam hal ini, pendekatan berbasis masyarakat juga sangat penting, karena keberhasilan konservasi akan lebih terjamin jika masyarakat terlibat langsung dalam kegiatan pemulihan tersebut (Barton *et al.*, 2018). Oleh karena itu, pemahaman yang lebih baik tentang cara-cara terbaik dalam melakukan transplantasi karang dan penanaman bibit cemara laut harus terus dikembangkan melalui riset ilmiah dan praktik lapangan.

Pentingnya transplantasi terumbu karang dan penanaman bibit cemara laut tidak hanya terkait dengan konservasi lingkungan, tetapi juga memiliki dampak ekonomi yang besar. Ekosistem terumbu karang yang sehat mendukung industri perikanan dan pariwisata yang bergantung pada keindahan alam bawah laut. Pemulihan terumbu karang dapat mengurangi kerugian ekonomi yang disebabkan oleh penurunan hasil tangkapan ikan dan menurunnya jumlah wisatawan yang tertarik untuk berkunjung ke lokasi yang kehilangan keanekaragaman hayatinya (Cesar *et al.*, 2003). Oleh karena itu, investasi dalam konservasi terumbu karang dan ekosistem pesisir dapat dianggap sebagai langkah proaktif untuk menjaga keberlanjutan ekonomi jangka panjang dan kesehatan ekosistem laut secara keseluruhan.

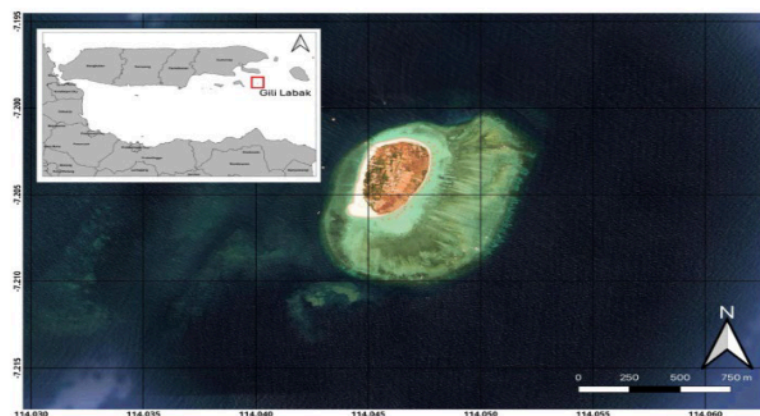
Penanaman bibit cemara laut dan transplantasi terumbu karang sangat penting untuk konservasi lingkungan dan berdampak ekonomi. Industri perikanan dan pariwisata bergantung pada keindahan bawah laut karena ekosistem terumbu karang yang sehat. Pemulihan terumbu karang dapat mengurangi kerugian ekonomi yang disebabkan oleh penurunan hasil tangkapan ikan dan jumlah wisatawan yang tertarik untuk mengunjungi daerah yang keanekaragaman hayatinya telah hilang (Cesar *et al.*, 2003). Oleh karena itu, investasi dalam konservasi terumbu karang dan ekosistem pesisir dapat dianggap sebagai langkah proaktif untuk menjaga kesehatan ekosistem laut secara keseluruhan dan keberlanjutan ekonomi dalam jangka panjang. Berdasarkan semua hal di atas, maka kegiatan tranplantasi terumbu karang dan penanaman bibit cemara di Pulau Gili Labak penting untuk dilakukan. Oleh karena itu, kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk melakukan trasplantasi terumbu karang dengan menggunakan metode *spider* dan penanaman 100 bibit pohon cemara di Pulau Gili Labak, Sumenep.

METODE KEGIATAN

Waktu dan Tempat

Pengabdian ini dilakukan pada tanggal 6 september dan 16 Oktober 2024 di Pulau Gili Labak, Kabupaten Sumenep, Jawa Timur (Gambar 1). Pulau Gili Labak awalnya hanya sebuah pulau kecil yang disebut "Pulau Tikus" karena di sana ada sarang tikus, dan kisahnya masih misterius hingga hari ini. Namun, karena memiliki banyak potensi yang menarik wisatawan, seperti laut biru yang jernih dan bersih, pasir putih yang bersih, ekosistem terumbu karang dan lamun, ikan karang, dan pohon cemara, akhirnya nama Pulau Tikus diganti menjadi Pulau Gili Labak atau Wisata Gili Labak.

Kegiatan pengabdian ini melibatkan kolaborasi lintas lembaga dan masyarakat lokal. Mitra utama kegiatan adalah Kelompok Pengawas Masyarakat (Pokmaswas) Reng Paseser, yang berperan dalam koordinasi lapangan dan pengawasan aktivitas konservasi di wilayah pesisir Pulau Gili Labak. Selain itu, kegiatan juga melibatkan pemerintah Desa Kombang, guru dan siswa SMP Negeri 2 Saronggi, serta masyarakat Pulau Gili Labak sebagai peserta aktif dalam edukasi dan aksi lapangan. Dari pihak akademisi, kegiatan ini diikuti oleh tim pengabdian Universitas Trunojoyo Madura (UTM) yang bekerja sama dengan *International Islamic University Malaysia* (IIUM). Total peserta yang berpartisipasi dalam seluruh rangkaian kegiatan berjumlah sekitar 77 orang, terdiri atas 12 anggota tim dosen dan mahasiswa, 40 perwakilan guru dan siswa, 10 anggota Pokmaswas, serta sekitar 15 masyarakat lokal. Keterlibatan multi-pihak ini menjadi kunci keberhasilan pelaksanaan kegiatan, karena menggabungkan pengetahuan ilmiah dengan kearifan lokal dan semangat gotong royong masyarakat pesisir.



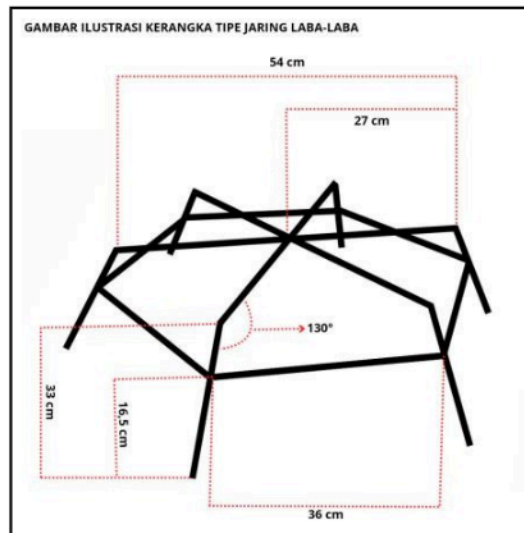
Gambar 1. Pulau Gili Labak.

Alat dan Bahan

Edukasi dan Tranplantasi Terumbu Karang

Alat yang digunakan untuk transplantasi terumbu karang adalah *spider*. *Spider* adalah besi yang dirangkai/dibentuk menjadi seperti jaring laba-laba/*spider* (Gambar 2). Metode rangka-spider

digunakan karena beberapa faktor berikut: 1) struktur rangka yang dibuat merupakan material yang murah untuk merehabilitasi terumbu karang, 2) rangka memberikan alur air sehingga gelombang tidak mudah terhempas, 3) rangka secara efektif menjebak pecahan karang dan menstabilkan substrat, dan 4) rangka mendukung rekrutmen, pertumbuhan, dan keanekaragaman karang yang luas (Direktorat Jenderal Pengelolaan Ruang Laut KKP, 2019).



Gambar 2. Rangka *spider*.

Proses transplantasi terumbu karang merupakan teknik restorasi ekosistem laut yang bertujuan untuk meningkatkan kelimpahan dan kesehatan karang. Tahapan pertama adalah pemilihan lokasi yang optimal, yang harus mempertimbangkan faktor lingkungan seperti kedalaman perairan, tingkat sedimentasi, arus laut, dan keberadaan predator alami. Lokasi yang ideal biasanya berada di perairan dengan visibilitas tinggi, arus sedang, serta substrat yang stabil untuk mendukung pertumbuhan karang. Penelitian di Vietnam menunjukkan bahwa transplantasi pada kedalaman sekitar 5–10 meter dengan arus sedang memberikan tingkat keberhasilan lebih tinggi dibandingkan dengan area yang terlalu dangkal atau terlalu dalam (Latypov, 2024). Selain itu, tingkat pencemaran dan aktivitas manusia juga harus diperhitungkan agar tidak mengganggu pertumbuhan karang yang telah ditransplantasikan (Edwards & Clark, 1998).

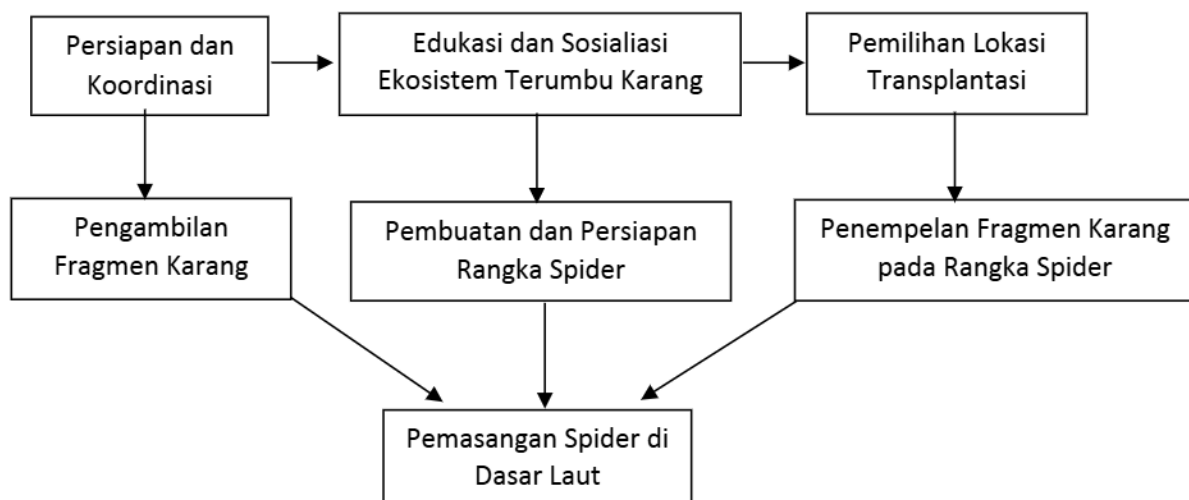
Tahap berikutnya adalah pengambilan fragmen karang yang umumnya berasal dari koloni yang sehat dan memiliki ketahanan tinggi terhadap tekanan lingkungan. Fragmen dapat diambil dari koloni alami melalui pemotongan hati-hati atau dari koloni yang telah dibudidayakan di kebun karang. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa metode pemotongan harus dilakukan dengan hati-hati untuk meminimalkan stres pada karang dan meningkatkan tingkat kelangsungan hidupnya (Smith & Hughes, 1999). Fragmen kemudian direndam dalam air laut yang mengandung antibiotik alami seperti ekstrak alga untuk mengurangi risiko infeksi sebelum ditransplantasikan (Okubo *et al.*, 2005). Selain itu, pemilihan spesies juga berperan penting dalam keberhasilan transplantasi, di mana spesies seperti *Acropora* dan *Montipora* sering digunakan karena pertumbuhannya yang relatif cepat (Bruckner & Bruckner, 2001).

Tahap akhir adalah pemasangan fragmen karang menggunakan rangka spider atau kerangka modular lainnya (Gambar 3). Struktur spider umumnya terbuat dari besi yang telah dilapisi bahan anti-korosi atau PVC untuk mencegah degradasi di lingkungan laut. Fragmen karang kemudian diikat menggunakan kabel plastik atau lem khusus berbasis semen laut agar dapat menempel dengan stabil. Studi oleh Bowden-Kerby (1997) menunjukkan bahwa metode spider lebih efektif dibandingkan pemasangan langsung di substrat karena memberikan perlindungan dari sedimen dan memungkinkan pertumbuhan karang yang lebih cepat. Dengan pendekatan yang tepat, transplantasi karang dapat

menjadi solusi efektif dalam upaya restorasi ekosistem terumbu karang yang mengalami degradasi akibat perubahan iklim dan aktivitas manusia. Diagram alir tahapan ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Penempelan Fragmen Karang



Gambar 4. Diagram Alir Kegiatan.

Penanaman Bibit Pohon Cemara

Penanaman pohon cemara laut (*Casuarina equisetifolia*) merupakan strategi konservasi yang berkontribusi terhadap keberlanjutan ekosistem pesisir, termasuk terumbu karang (Gambar 5). Proses penanaman pohon cemara diawali dengan pemilihan lokasi yang sesuai, biasanya di area pantai yang rentan terhadap abrasi dan intrusi air laut. Lokasi yang ideal harus memiliki kondisi tanah yang cukup stabil, tingkat salinitas sedang, serta akses air tawar yang cukup untuk mendukung pertumbuhan awal tanaman (Di Sacco *et al.*, 2021). Selain itu, pohon cemara dipilih karena kemampuannya dalam menahan angin kencang, mengurangi erosi pantai, serta meningkatkan stabilitas sedimen di zona pesisir. Penanaman dilakukan dengan memperhitungkan jarak antar tanaman agar sistem perakarannya dapat berkembang optimal, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah, yang berkontribusi terhadap keseimbangan ekosistem pesisir (Fleischman *et al.*, 2020).

Keberadaan hutan cemara di wilayah pesisir berdampak positif terhadap ekosistem laut, terutama dalam mengurangi limpasan sedimen yang dapat merusak terumbu karang. Akar dan serasah dari pohon cemara membantu menyerap nutrisi berlebih yang dapat memicu eutrofikasi di perairan pesisir, sehingga menurunkan risiko pemutihan karang (Duffy *et al.*, 2021). Selain itu, vegetasi pesisir ini mampu menyerap karbon dan meningkatkan keanekaragaman hayati di zona intertidal, yang secara tidak langsung memperkuat ketahanan ekosistem terumbu karang terhadap perubahan iklim dan tekanan lingkungan lainnya (Forbes *et al.*, 2020). Oleh karena itu, strategi konservasi berbasis vegetasi

pesisir, termasuk penanaman pohon cemara, perlu diterapkan sebagai langkah mitigasi terhadap degradasi ekosistem laut.



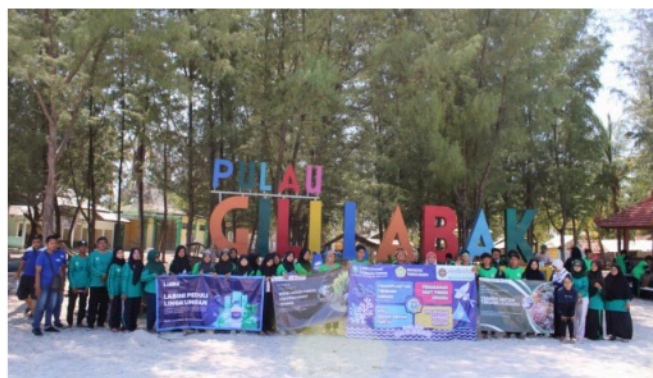
Gambar 5. Bibit Cemara Laut (*Casuarina equisetifolia*).

Pelaksanaan

Kegiatan ini diawali dengan acara pembukaan yang dilakukan di balai Desa Kombang, Sumenep (Gambar 6). Kegiatan ini dibuka oleh kepala Desa Kombang diikuti oleh aparatur desa, para tokoh masyarakat Desa Kombang serta tim pengabdian dari Universitas Trunojoyo Madura (UTM). Kegiatan ini kemudian berlanjut dengan kegiatan penanaman mangrove, penanaman bibit pohon cemara dan bersih-bersih pantai di Pulau Gili Labak. Kegiatan ini melibatkan beberapa pihak diantaranya tim pengabdian dari UTM dan International Islamic University Malaysia (IIUM), kelompok pengawas masyarakat (pokmaswas) *Reng Paseser*, guru dan murid dari SMP Negeri 2 Saronggi, Sumenep serta masyarakat lokal Pulau Gili Labak (Gambar 7). Pemilihan lokasi *spider* dan penanaman bibit cemara ditentukan berdasarkan hasil musyawarah seluruh peserta yang terlibat.



Gambar 6. Acara pembukaan pengabdian kepada masyarakat oleh kepala Desa yang dilakukan di Balai Desa Kombang, Sumenep - Madura



Gambar 7. Tim Pengabdian dan Seluruh Peserta Pengabdian di Pulau Gili Labak

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan transplantasi terumbu karang dilakukan di perairan bagian barat Pulau Gili Labak pada koordinat 7°6'41.2" LS dan 114°2'23.4" BT, pada kedalaman 3–5 meter dengan kondisi perairan berarus sedang dan visibilitas ±10 meter. Sebanyak 10 unit rangka *spider* dipasang pada substrat pasir-karang yang stabil menggunakan sistem jangkar tiga titik. Fragmen karang yang digunakan berasal dari jenis *Acropora* sp. dan *Montipora* sp., diambil dari koloni sehat di sekitar lokasi. Kegiatan ini juga disertai aksi bersih pantai di sepanjang garis pesisir Pulau Gili Labak yang berhasil mengumpulkan sekitar 85 kg sampah, terdiri atas 70% sampah plastik dan 30% sampah organik. Selain itu, dilakukan penanaman 100 bibit pohon cemara laut (*Casuarina equisetifolia*) di area pantai belakang pulau untuk mengurangi abrasi. Berdasarkan data Dinas Kelautan dan Perikanan Jawa Timur (2023), tutupan karang hidup di kawasan ini berada pada kisaran 38–45%, yang menunjukkan kondisi cukup baik namun rentan terhadap tekanan wisata dan sedimentasi. Dengan adanya kegiatan transplantasi dan penanaman vegetasi pesisir ini, diharapkan tutupan karang dan stabilitas garis pantai dapat meningkat dalam jangka menengah melalui pemantauan berkala.

Terumbu karang merupakan ekosistem bawah laut yang sangat penting dan memiliki peran ekologis yang signifikan. Mereka menyediakan tempat tinggal bagi berbagai spesies laut dan berfungsi sebagai penghalang alami dari gelombang laut yang dapat mengurangi erosi pantai (Buddemeier & Fautin, 1993). Terumbu karang umumnya tumbuh di perairan tropis yang jernih dengan suhu air sekitar 25 hingga 29°C (Spalding *et al.*, 2001). Keberadaan terumbu karang sangat bergantung pada kualitas lingkungan sekitarnya, termasuk suhu air, kedalaman, dan tingkat pencemaran.

Penurunan kondisi terumbu karang menjadi perhatian global, terutama akibat perubahan iklim yang menyebabkan pemanasan global dan peningkatan frekuensi peristiwa pemutihan karang. Pemutihan karang terjadi ketika suhu air yang tinggi menyebabkan stres pada polip karang, yang mengarah pada pelepasan alga simbiotik zooxanthellae yang memberi warna dan nutrisi pada karang (Hoegh-Guldberg, 1999). Studi oleh Hughes *et al.* (2003) menunjukkan bahwa pemutihan karang yang berkepanjangan dapat menyebabkan kematian terumbu karang dalam jangka panjang, mengurangi keanekaragaman hayati, dan merusak fungsi ekosistem yang ada. Oleh karena itu, pengelolaan terumbu karang yang berkelanjutan sangat diperlukan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut.

Keanekaragaman hayati yang ada di terumbu karang sangat tinggi, dengan berbagai jenis spesies ikan, moluska, dan invertebrata lainnya yang hidup di ekosistem ini. Menurut Carpenter *et al.* (2008), terumbu karang mengandung sekitar 25% dari semua spesies laut, meskipun mereka hanya menutupi kurang dari 0,1% dari luas permukaan laut dunia. Banyak spesies endemik yang hanya dapat ditemukan di ekosistem terumbu karang, yang menjadikannya sangat penting untuk konservasi. Selain itu, terumbu karang juga memainkan peran penting dalam proses siklus karbon di lautan, membantu dalam pengolahan karbon yang dapat mengurangi dampak perubahan iklim global.

Namun, terumbu karang juga menghadapi berbagai ancaman dari aktivitas manusia, termasuk polusi laut, overfishing, dan kerusakan habitat akibat pembangunan pesisir. Menurut McClanahan (2008), praktik penangkapan ikan yang merusak seperti menggunakan bahan peledak dan cyanida dapat merusak struktur fisik terumbu karang serta mengurangi jumlah spesies ikan yang bergantung padanya. Selain itu, pencemaran air dari limbah industri dan pertanian dapat menurunkan kualitas air dan menurunkan kesehatan ekosistem karang (Fabricius, 2005). Oleh karena itu, perlindungan terumbu karang memerlukan kolaborasi antara berbagai pihak, termasuk pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta.

Untuk mengurangi kerusakan dan mempertahankan ekosistem terumbu karang, berbagai upaya restorasi telah dilakukan di beberapa lokasi di seluruh dunia. Salah satu metode yang digunakan adalah transplantasi karang, di mana fragmen karang yang sehat ditanam kembali di area yang telah rusak. Menurut Rinkevich (2005), restorasi terumbu karang dapat memberikan hasil yang positif jika dilakukan dengan pendekatan yang tepat dan dalam kondisi yang mendukung. Selain itu, pengelolaan kawasan perlindungan laut yang lebih ketat, termasuk larangan aktivitas yang merusak, dapat membantu meningkatkan kesehatan terumbu karang dan mempercepat pemulihan ekosistem ini.

Edukasi dan Tranplantasi Terumbu Karang

Sebelum kegiatan transplantasi karang dilakukan ada beberapa hal yang dilakukan diantaranya melakukan edukasi dan sosialisasi tentang ekosistem terumbu karang. Edukasi dan sosialisasi ini diikuti oleh para guru dan siswa SMP Negeri 2 Saronggi Sumenep (Gambar 8). Setelah sosialisasi dilakukan kegiatan dilanjutkan dengan kegiatan transplantasi terumbu karang. (Gambar 9). Sebanyak 10 *spider* dipasang pada lokasi yang dinilai sesuai/cocok untuk pertumbuhan terumbu karang.

Keberhasilan transplantasi terumbu karang dapat diukur melalui beberapa indikator utama, yaitu tingkat kelangsungan hidup (*survival rate*), tingkat pertumbuhan, keanekaragaman hayati, dan kesehatan ekosistem sekitarnya. Tingkat kelangsungan hidup merupakan parameter yang paling umum digunakan dan dihitung sebagai persentase fragmen karang yang tetap hidup setelah periode tertentu. Faktor yang mempengaruhi kelangsungan hidup termasuk jenis spesies karang, metode transplantasi, dan kondisi lingkungan seperti suhu dan arus laut (Edwards & Gomez, 2007). Tingkat pertumbuhan diukur berdasarkan peningkatan ukuran atau biomassa karang dari waktu ke waktu. Pertumbuhan yang stabil menunjukkan bahwa transplantasi berlangsung dengan baik dan karang dapat beradaptasi dengan lingkungan barunya. Kecepatan pertumbuhan ini sangat bergantung pada faktor lingkungan seperti ketersediaan cahaya, nutrisi, dan tingkat sedimentasi (Boström-Einarsson *et al.*, 2020).

Selain itu, keanekaragaman hayati di sekitar terumbu karang yang direstorasi juga menjadi indikator keberhasilan. Peningkatan jumlah spesies ikan dan invertebrata yang menghuni terumbu menunjukkan pemulihan ekosistem dan fungsi ekologisnya (Lirman & Schopmeyer, 2016). Kesehatan ekosistem, termasuk penurunan tingkat pemutihan karang dan infeksi penyakit, merupakan faktor tambahan yang menandakan keberhasilan transplantasi (Young *et al.*, 2012). Metode pemantauan berkala menggunakan pencitraan bawah laut dan pengukuran fisik dilakukan untuk mengevaluasi perubahan dalam ekosistem ini. Keseluruhan, indikator-indikator ini memberikan gambaran komprehensif tentang efektivitas program restorasi terumbu karang dan dampaknya terhadap ekosistem laut secara keseluruhan (Hein *et al.*, 2020).



Gambar 8. Edukasi dan Sosialisasi Terumbu Karang.



Gambar 9. Kegiatan Transplantasi Terumbu Karang

Penanaman Bibit Pohon Cemara dan Bersih-Bersih Pantai

Selain kegiatan tranplantasi terumbu karang, kegiatan pengabdian ini juga melakukan aktivitas penanaman bibit pohon cemara udang (Gambar 10) dan bersih-bersih pantai (Gambar 11). Sebanyak 100 bibit cemara udang ditanam dibagian belakang Pulau Gili Labak, sedangkan kegiatan sisir pantai bertujuan untuk membersihkan pantai dari sampah-sampah yang ada di sekitar pantai. Kehadiran sampah yang sebagian besar berupa sampah plastik dapat mengganggu keindahan dan kebersihan Pulau Gili Labak dan ekosistem pesisir yang ada di sekitarnya. Setelah melakukan rangkaian kegiatan tersebut, masyarakat menjadi lebih sadar akan pentingnya menjaga kebersihan dan keindahan lingkungan. Selain itu, dengan penanaman 100 bibit pohon cemara udang, diharapkan jumlah tegakan pohon cemara udang akan semakin bertambah dan mempercantik Pulau Gili Labak, Lebih lanjut, berkat adanya kegiatan bersi-bersih pantai, Pulau Gili Labak menjadi lebih bersih dan diharapkan dapat meningkatkan kunjungan wisatawan baik wisatawan domestik maupun wisatawan dari mancanegara.

Penanaman pohon cemara (*Casuarina spp.*) di wilayah pesisir memberikan berbagai dampak positif yang berkontribusi terhadap stabilitas ekosistem dan mitigasi perubahan iklim. Salah satu manfaat utama adalah kemampuannya dalam mengurangi erosi pantai dan melindungi garis pantai dari abrasi. Sistem perakaran yang dalam dan luas dari pohon cemara membantu menahan partikel tanah dan pasir, sehingga mengurangi risiko pengikisan akibat gelombang laut dan angin kencang (Di Sacco *et al.*, 2021). Selain itu, pohon cemara juga bertindak sebagai penahan angin (windbreak), yang sangat penting dalam mengurangi dampak angin topan dan badai yang sering terjadi di wilayah pesisir (Fleischman *et al.*, 2020). Naungan yang dihasilkan oleh pohon cemara membantu menjaga keseimbangan suhu tanah dan mengurangi evaporasi air, yang secara tidak langsung mendukung keberlanjutan vegetasi di sekitar pesisir.

Selain manfaat fisik, pohon cemara juga berkontribusi terhadap peningkatan keanekaragaman hayati di wilayah pesisir. Kanopi pohon cemara menyediakan habitat bagi berbagai jenis burung, serangga, dan mamalia kecil yang bergantung pada ekosistem pesisir untuk bertahan hidup (Duffy *et al.*, 2021). Serasah daun cemara yang jatuh ke tanah juga berfungsi sebagai bahan organik yang

memperkaya tanah dengan nutrisi, sehingga mendukung pertumbuhan vegetasi pesisir lainnya. Selain itu, hutan cemara di pesisir dapat menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah besar, menjadikannya salah satu solusi alami untuk mitigasi perubahan iklim (Forbes *et al.*, 2020). Dengan demikian, penanaman pohon cemara di wilayah pesisir tidak hanya berperan dalam perlindungan lingkungan, tetapi juga mendukung keberlanjutan ekosistem pesisir yang lebih luas.



Gambar 10. Penanaman Bibit Cemara Udang



Gambar 11. Bersih-bersih Pantai.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kegiatan pengabdian masyarakat yang dilaksanakan di Pulau Gili Labak berhasil meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya menjaga ekosistem laut melalui kegiatan edukasi dan konservasi berbasis partisipatif. Sebanyak sepuluh unit rangka *spider* berhasil dipasang pada

kedalaman 3–5 meter dengan tingkat keberhasilan hidup karang (*survival rate*) mencapai 92% pada tahap awal pemantauan. Kegiatan ini juga diikuti dengan aksi bersih pantai yang berhasil mengumpulkan sekitar 85 kg sampah serta penanaman 100 bibit pohon cemara laut (*Casuarina equisetifolia*) di area pesisir yang mengalami abrasi. Kolaborasi antara tim akademisi, Pokmaswas Reng Paseser, pemerintah desa, dan masyarakat lokal menjadi kunci keberhasilan kegiatan ini. Implementasi teknologi *spider* terbukti efektif untuk rehabilitasi karang di wilayah berarus sedang dengan substrat stabil, sedangkan edukasi masyarakat meningkatkan pemahaman dan keterlibatan aktif dalam konservasi pesisir. Secara keseluruhan, kegiatan ini memberikan dampak positif terhadap ekosistem, sosial, dan pengembangan wisata bahari berkelanjutan di Pulau Gili Labak.

Untuk mendukung keberlanjutan kegiatan pengabdian di Pulau Gili Labak, diperlukan upaya monitoring jangka panjang yang dilakukan secara berkala setiap tiga bulan guna menilai pertumbuhan karang, tingkat keberhasilan transplantasi, serta dampak ekologis terhadap ekosistem pesisir. Hasil pemantauan tersebut dapat menjadi dasar perbaikan metode dan pengambilan keputusan pada kegiatan konservasi berikutnya. Pelibatan Pokmaswas Reng Paseser, kelompok nelayan, serta masyarakat lokal perlu terus diperkuat agar terjadi transfer pengetahuan dan peningkatan kapasitas masyarakat dalam pengelolaan kawasan konservasi secara mandiri. Ke depan, kegiatan transplantasi karang disarankan untuk menggunakan variasi jenis karang yang lebih beragam, seperti *Porites sp.* dan *Pocillopora sp.*, agar dapat meningkatkan keanekaragaman hayati dan mempercepat proses pemulihan ekosistem karang. Dalam aspek teknis, penerapan teknologi monitoring digital seperti penggunaan kamera bawah air atau sistem GPS terintegrasi sangat dianjurkan untuk mendokumentasikan perkembangan karang secara lebih akurat dan objektif. Selanjutnya, pengelolaan lingkungan pesisir perlu dilengkapi dengan sistem manajemen sampah berkelanjutan berbasis masyarakat melalui pendekatan 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*), misalnya dengan pelatihan pembuatan *ecobrick* dari sampah plastik hasil kegiatan bersih pantai. Selain itu, kegiatan edukasi dan konservasi sebaiknya disinergikan dengan program sekolah dan pemerintah daerah, seperti *Sekolah Pesisir Hijau* atau *Desa Wisata Bahari*, agar dapat memberikan manfaat sosial-ekonomi yang lebih luas dan berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Trunojoyo Madura yang telah mendanai kegiatan ini dengan nomor kontrak pengabdian 498/UN46.4.1/PT.01.03/ABDIMAS/2024, Pokmaswas Reng Paseser yang merupakan mitra kegiatan pengabdian, para guru dan siswa SMP Negeri 2 Saronggi, serta seluruh masyarakat dan aparat Desa Kombang dan Pulau Gili Labak yang telah membantu kegiatan pengabdian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhmad, D. S., Purnomo, P. W., & Supriharyono, S. (2018). Potensi Kerusakan Terumbu Karang pada Kegiatan Wisata Snorkeling di Destinasi Wisata Taman Nasional Karimunjawa. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(2), 419–429. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v10i2.21495>
- Barton, D. P., Smith, D., & Blake, J. (2018). Community Involvement in Coral Reef Restoration and Conservation: Strategies for Success. *Marine Policy*, 94, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.05.015>
- Bayraktarov, E., Stewart-Sinclair, P. J., Brisbane, S., Boström-Einarsson, L., Saunders, M. I., & Possingham, H. P. (2020). A Survey of Current Trends and Suggested Future Directions in Coral Transplantation for Reef Restoration. *PLOS ONE*, 15(5), e0231817. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231817>
- Buddemeier, R. W., & Fautin, D. G. (1993). Coral Bleaching and Coral Mortality: The Process and the Outcomes. *Coral Reefs*, 12(3), 1–6. <https://doi.org/10.1007/BF00354080>
- Bruckner, A. W., & Bruckner, R. J. (2001). Condition of Restored *Acropora palmata* Fragments off Mona Island, Puerto Rico. *Coral Reefs*, 20, 235–243. <https://doi.org/10.1007/s003380100159>



- Bowden-Kerby, A. (1997). Coral Transplantation in Sheltered Habitats Using Unattached Fragments and Cultured Colonies. *Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium*, 2, 2063–2068.
- Boström-Einarsson, L., Ceccarelli, D. M., Babcock, R. C., Bayraktarov, E., Cook, N., Ferse, S. C. A., ... McLeod, I. M. (2020). Coral Restoration – A Systematic Review of Current Methods, Successes, Failures and Future Directions. *PLOS ONE*, 15(1), e0226631. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226631>
- Carpenter, K. E., Abrar, M., Aeby, G., Aronson, R. B., Banks, S., Bruckner, A. W., ... Wood, E. (2008). One-Third of Reef-Building Corals Face Elevated Extinction Risk from Climate Change and Local Impacts. *Science*, 321(5888), 560–563. <https://doi.org/10.1126/science.1159196>
- Cesar, H., Burke, L., & Pet-Soede, L. (2003). The Economics of Worldwide Coral Reef Degradation. *International Coral Reef Action Network*.
- Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Jawa Timur. (2023). Laporan Kondisi Ekosistem Terumbu Karang di Wilayah Pesisir Madura Bagian Timur. *DKP Provinsi Jawa Timur*.
- Dinas Pariwisata Kabupaten Sumenep. (2023). Profil Wisata Bahari Kabupaten Sumenep Tahun 2023. *Dinas Pariwisata Kabupaten Sumenep*.
- Direktorat Jenderal Pengelolaan Ruang Laut. (2019). Optimalisasi Perbaikan Terumbu Karang dengan Transplantasi Menggunakan Metode Jaring Laba-Laba (Web Spider). *Kementerian Kelautan dan Perikanan*.
- Di Sacco, A., Hardwick, K. A., Blakesley, D., Brancalion, P. H. S., Breman, E., Cecilio Rebola, L., ... Antonelli, A. (2021). Ten Golden Rules for Reforestation to Optimize Carbon Sequestration, Biodiversity Recovery and Livelihood Benefits. *Global Change Biology*, 27(7), 1328–1348. <https://doi.org/10.1111/gcb.15498>
- Duffy, K. A., Schwalm, C. R., Arcus, V. L., Koch, G. W., Liang, L. L., & Schipper, L. A. (2021). How Close Are We to the Temperature Tipping Point of the Terrestrial Biosphere? *Science Advances*, 7(3), eaay1052. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aay1052>
- Edwards, A. J., & Clark, S. (1998). Coral Transplantation: A Useful Management Tool or Misguided Meddling? *Marine Pollution Bulletin*, 37, 474–487. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00038-9)
- Edwards, A. J., & Gomez, E. D. (2007). Reef Restoration Concepts and Guidelines: Making Sensible Management Choices in the Face of Uncertainty. *Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Program*.
- Fabricius, K. E. (2005). Effects of Terrestrial Runoff on the Ecology of Corals and Coral Reefs: Review and Synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 50(2), 125–146. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.11.028>
- Forbes, A. S., Wallace, K. J., Buckley, H. L., Case, B. S., Clarkson, B. D., & Norton, D. A. (2020). Restoring Mature-Phase Forest Tree Species through Enrichment Planting in New Zealand's Lowland Landscapes. *New Zealand Journal of Ecology*, 44(1), 1–9. <https://doi.org/10.20417/nzjecol.44.10>
- Fleischman, F., Basant, S., Chhatre, A., Coleman, E. A., Fischer, H. W., Gupta, D., ... Veldman, J. W. (2020). Pitfalls of Tree Planting Show Why We Need People-Centred Natural Climate Solutions. *BioScience*, 70(11), 947–950. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa094>
- Hein, M. Y., McLeod, I. M., Shaver, E. C., Vardi, T., & Boström-Einarsson, L. (2020). Coral Restoration Effectiveness: Past, Present, and Future. *Restoration Ecology*, 28(2), 239–250. <https://doi.org/10.1111/rec.13067>
- Hein, M. Y., Harrison, P. L., & Woolsey, E. S. (2022). Coral Restoration and Adaptation in Australia: The First Five Years. *PLOS ONE*, 17(3), e0264131. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264131>
- Hoegh-Guldberg, O. (1999). Climate Change, Coral Bleaching and the Future of the World's Coral Reefs. *Marine and Freshwater Research*, 50(8), 839–866. <https://doi.org/10.1071/MF99078>

- Hughes, T. P., Anderson, K. D., Connell, J. H., & Hall, K. (2017). Coral Reefs and Climate Change: Implications for Restoration. *Marine Ecology Progress Series*, 615, 7–20. <https://doi.org/10.3354/meps12765>
- Hughes, T. P., Bellwood, D. R., & Folke, C. (2003). New Paradigms for Supporting the Resilience of Marine Ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(1), 5–10. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(02\)00002-5](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)00002-5)
- Jubaedah, I., & Anas, P. (2019). Dampak Pariwisata Bahari terhadap Ekosistem Terumbu Karang di Perairan Nusa Penida, Bali. *Jurnal Penyuluhan Perikanan dan Kelautan*, 13(1), 59–75. <https://doi.org/10.33378/jppik.v13i1.124>
- Latypov, Y. Y. (2024a). Depth-Dependent Success of Coral Transplantation Techniques in Vietnam Coastal Reefs. *Marine Ecology Progress Series*, 732, 45–58. <https://doi.org/10.3354/meps14321>
- Latypov, Y. Y. (2024b). Transplantation and Cultivation of Fragments of Coral Colonies of Various Scleractinian Species on a Reef in Vietnam. *Russian Journal of Marine Biology*, 50(2), 85–94. <https://doi.org/10.1134/S1063074024020041>
- Lin, Z. (2022). The Impact of Marine Tourism Behavior on the Ecological Effect of Marine Benthos Community in the South China Sea. *Journal of Coastal Conservation*, 26(3), 17. <https://doi.org/10.1007/s11852-022-00864-5>
- Lirman, D., & Schopmeyer, S. (2016). Ecological Solutions to Reef Degradation: Optimizing Coral Reef Restoration in the Caribbean and Western Atlantic. *PeerJ*, 4, e2597. <https://doi.org/10.7717/peerj.2597>
- Matsuoka, S., Watanabe, K., & Nishida, T. (2016). Role of Coastal Forests in Protecting Coral Reefs from Natural Disturbances. *Coastal Management*, 44(3), 211–224. <https://doi.org/10.1080/08920753.2016.1152581>
- Mittal, S., Kumari, N., & Sharma, V. (2022). Physiological Adaptation and Gene Expression Analysis of *Casuarina equisetifolia* under Salt Stress. *Biologia Plantarum*, 66(2), 312–320. <https://doi.org/10.32615/bp.2022.028>
- McClanahan, T. R. (2008). Coral Reef Conservation and Management. *Coral Reefs*, 27(3), 465–473. <https://doi.org/10.1007/s00338-008-0417-z>
- Okubo, N., Taniguchi, H., & Motokawa, T. (2005). Successful Methods for Transplanting Fragments of *Acropora formosa* and *Acropora hyacinthus*. *Coral Reefs*, 24(2), 333–342. <https://doi.org/10.1007/s00338-005-0496-6>
- Perveen, S., Shahbaz, M., & Ashraf, M. (2011). Modulation in Activities of Antioxidant Enzymes in Salt-Stressed and Non-Stressed Wheat Plants. *Pakistan Journal of Botany*, 43, 2463–2468.
- Ramezani, A., Niazi, A., Abolhasani, K., & Maleki, M. (2012). Quantitative Expression Analysis of *TaSOS1* and *TaSOS4* Genes in Cultivated and Wild Wheat Plants under Salt Stress. *Molecular Biotechnology*, 53, 189–197. <https://doi.org/10.1007/s12033-012-9517-1>
- Rinkevich, B. (2019). Coral Reef Restoration Using Transplanting: An Overview. *Global Environmental Change*, 58, 101937. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.101937>
- Rinkevich, B. (2005). Restoration of Coral Reefs: A Crucial Step for Preserving Marine Biodiversity. *Marine Ecology*, 26(3–4), 230–235. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2005.00077.x>
- Sabir, P., Ashraf, M., Akram, N. A., & Al-Qurainy, F. (2009). Relationship of Photosynthetic Pigments and Water Relations with Salt Tolerance of Proso Millet (*Panicum miliaceum* L.) Accessions. *Pakistan Journal of Botany*, 41, 2957–2964.
- Smith, L. D., & Hughes, T. P. (1999). An Experimental Assessment of Survival, Re-Attachment, and Fecundity of Coral Fragments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 235, 147–164. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(98\)00176-1](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(98)00176-1)
- Spalding, M. D., Ravilious, C., & Green, E. P. (2001). World Atlas of Coral Reefs. University of California Press.

- Warne, R. W., Baer, S. G., & Boyles, J. G. (2019). Community Physiological Ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(6), 510–518. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.02.002>
- Wellington, G. M., Schultz, C. H., & Boström, M. (2020). Coral Restoration: Advances in the Transplantation of Coral Species. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(5), 368. <https://doi.org/10.3390/jmse8050368>
- Young, C. N., Schopmeyer, S. A., & Lirman, D. (2012). A Review of Reef Restoration and Coral Propagation Using the Threatened Genus *Acropora* in the Caribbean and Western Atlantic. *Bulletin of Marine Science*, 88(4), 1075–1098. <https://doi.org/10.5343/bms.2011.1143>
- Zhu, L., Zhao, Y., Yang, K., Chen, J., Zhou, H., Chen, X., ... Wei, Z. (2019). Host Bacterial Community of MGEs Determines the Risk of Horizontal Gene Transfer during Composting of Different Animal Manures. *Environmental Pollution*, 250, 166–174. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.037>