

REHABILITASI EKOSISTEM LAUT

Wahyu Andy Nugraha
Insafitri



PT. GHANI PRESS GROUP

REHABILITASI EKOSISTEM LAUT

Penulis:

Wahyu Andy Nugraha & Insafitri

Desain Cover:

Umar Khasan

Layouter:

Tyas Dzawil Istiqomah

Editor Naskah:

Agus Romadhon

14 x 21 cm, v-232

ISBN: 978-634-97192-0-9

Anggota IKAPI: No. 468/JTI/2026

Diterbitkan oleh: PT GHANI PRESS GROUP

**Alamat:**

Bumi Permata Raya Blok 8 No. 14 Tanjung, Lamongan

HP. 0896-5710-0105

Email: ptghanipress@gmail.com

Website: <https://ghanipress.com/>

© Hak Cipta 2026 pada penulis

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

- a. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratus juta rupiah).
- b. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- c. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- d. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat, karunia, dan kemudahan-Nya, buku referensi berjudul Rehabilitasi Ekosistem Laut ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik. Buku ini hadir sebagai salah satu upaya untuk menyediakan bahan rujukan akademik yang membahas konsep, prinsip, penyebab kerusakan, serta strategi rehabilitasi ekosistem laut secara lebih sistematis dan aplikatif.

Ekosistem laut merupakan bagian penting dari sistem kehidupan yang memiliki fungsi ekologis, sosial, ekonomi, dan lingkungan yang sangat besar. Terumbu karang, mangrove, lamun, serta ekosistem pesisir lainnya berperan sebagai habitat biota laut, pelindung wilayah pesisir, penyedia sumber daya perikanan, penyimpan karbon, sekaligus penopang kehidupan masyarakat pesisir. Namun, tekanan akibat aktivitas manusia, perubahan tata guna lahan, pencemaran, eksploitasi sumber daya, serta perubahan iklim telah menyebabkan berbagai bentuk degradasi ekosistem laut. Kondisi tersebut menuntut adanya pemahaman yang kuat mengenai rehabilitasi, restorasi, dan pengelolaan ekosistem laut secara berkelanjutan.

Buku ini disusun untuk memberikan pemahaman dasar hingga teknis mengenai rehabilitasi ekosistem laut. Pembahasan dimulai dari pengertian rehabilitasi, restorasi, dan reklamasi; faktor-faktor penyebab kerusakan ekosistem laut; hingga teknik rehabilitasi pada ekosistem utama, yaitu terumbu karang, terumbu karang buatan, mangrove, dan lamun.

Sebagai buku referensi, naskah ini tidak hanya menekankan aspek konseptual, tetapi juga memberikan gambaran mengenai pendekatan teknis dan pertimbangan ekologis yang perlu diperhatikan dalam kegiatan rehabilitasi. Keberhasilan rehabilitasi ekosistem laut tidak hanya ditentukan oleh kegiatan penanaman atau transplantasi semata, tetapi juga oleh ketepatan pemilihan lokasi, kesesuaian metode, keterlibatan masyarakat, monitoring berkelanjutan, serta dukungan kebijakan dan kelembagaan.

Akhir kata, semoga buku ini bermanfaat untuk mahasiswa, dosen, peneliti, praktisi, pengelola kawasan pesisir, serta pihak-pihak yang memiliki perhatian terhadap konservasi dan pemulihan ekosistem laut.

Bangkalan, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
BAB I	
PENGERTIAN REHABILITASI EKOSISTEM LAUT	1
BAB II	
KERUSAKAN EKOSISTEM LAUT	21
BAB III	
REHABILITASI EKOSISTEM TERUMBU KARANG.....	35
BAB IV	
REHABILITASI EKOSISTEM TERUMBU KARANG DENGAN TERUMBU KARANG BUATAN.....	73
BAB V	
REHABILITASI EKOSISTEM MANGROVE	101
BAB VI	
REHABILITASI EKOSISTEM LAMUN	151
BAB VII	
MONITORING, INDIKATOR KEBERHASILAN, DAN EVALUASI REHABILITASI EKOSISTEM LAUT.....	195
DAFTAR PUSTAKA.....	205
INDEKS ISTILAH PILIHAN	227
BIODATA PENULIS.....	231



PT GHANI PRESS GROUP

Email: ptghanipress@gmail.com

Website: <https://ghanipress.com/>

BAB I

PENGERTIAN REHABILITASI EKOSISTEM LAUT

➤ Pengertian Restorasi, Rehabilitasi, dan Reklamasi, Ekosistem Laut

Restorasi (Gann et al., 2019; Abelson et al., 2016).

Restorasi merupakan suatu upaya atau pencegahan ancaman untuk memperkuat faktor-faktor konservasi. Kegiatan yang dilakukan pada saat restorasi area yang terdegradasi tidak terlepas dari peranan upaya penanaman dan ketersediaan bibit. Peranan bibit ini sangat penting dalam program restorasi area. Dengan demikian bibit yang menghasilkan pohon yang baik dan tumbuh kuat untuk keberhasilan program restorasi. Restorasi ekologis mengacu pada proses dalam pemulihan ekosistem yang rusak, sehingga ekosistem yang dipulihkan dapat mandiri, tahan terhadap gangguan tanpa bantuan lebih lanjut, serta menampilkan kesinambungan historis dalam struktur, fungsi, dan komposisi biologisnya (Gann et al., 2019). Dalam restorasi ekosistem laut, perhatian juga perlu diberikan pada efektivitas biaya, manipulasi bahan alam, organisme hidup, serta kondisi fisika-kimiawi lingkungan untuk mencapai tujuan pemulihan yang spesifik dan

memecahkan masalah teknis (Jacob et al., 2018). Dengan demikian, restorasi ekosistem laut dapat dipahami sebagai upaya pemulihan ekosistem laut, termasuk mangrove, terumbu karang, lamun, ikan, dan komponen biotik lain yang saling terkait (Abelson et al., 2016).

Rudianto (2014), restorasi ekosistem wilayah pesisir merupakan upaya untuk memperbaiki kembali kondisi wilayah pesisir yang telah mengalami kerusakan lingkungan akibat aktivitas manusia maupun perubahan alam. Restorasi tidak berhenti pada tahapan awal, tetapi perlu disertai kajian lebih lanjut agar proses pemulihan dapat berlangsung secara efektif. Dalam konteks pesisir, restorasi juga perlu memperhatikan perubahan hidrologi serta keterlibatan masyarakat karena kedua aspek tersebut berpengaruh kuat terhadap keberhasilan pemulihan ekosistem.

Rehabilitasi

Upaya rehabilitasi merupakan sebuah upaya yang memiliki tujuan untuk mengembalikan nilai estetika dan mengembalikan fungsi ekologis pada kawasan ekologi yang terdampak. Fungsi ekologis ini juga memiliki peranan penting bagi makhluk hidup di sekitar. Kegiatan rehabilitasi pada ekosistem laut salah satunya adalah rehabilitasi mangrove, yaitu upaya memulihkan kondisi ekosistem mangrove yang telah mengalami kerusakan agar dapat menjalankan kembali fungsinya dengan baik. Upaya rehabilitasi ini juga mengikutsertakan semua lapisan masyarakat yang memiliki hubungan dengan kawasan mangrove (Novianty et al., 2011).

Martuti et al. (2018), eksploitasi kawasan mangrove secara terus-menerus berpotensi mereduksi keanekaragaman spesies tumbuhan, menurunkan fungsi ekologis, serta melemahkan potensi sosial-ekonomi kawasan pesisir. Mengingat pentingnya fungsi ekosistem mangrove dalam menjaga keseimbangan kawasan pesisir, khususnya dalam menjaga keanekaragaman hayati, menyediakan habitat, dan mendukung jasa ekosistem, maka diperlukan upaya rehabilitasi yang melibatkan masyarakat dan pengelolaan berkelanjutan.

Kegiatan rehabilitasi adalah salah satu kegiatan yang didalamnya terdapat pemulihan dan penciptaan habitat dengan mengubah sistem yang sudah rusak menjadi lebih stabil. Upaya pemulihan merupakan solusi parsial yang tetap memerlukan perlindungan dan konservasi terhadap ekosistem yang tersisa agar kehilangan ekosistem tidak semakin meluas. Pemulihan sering dimaknai sebagai upaya mengembalikan atau menciptakan kembali kondisi alam berdasarkan fungsi alamiahnya (Gann et al., 2019). Keberhasilan rehabilitasi, khususnya pada ekosistem mangrove, sangat dipengaruhi oleh kesesuaian hidrologi, pemilihan lokasi, ketersediaan propagul atau bibit, dan kesesuaian spesies yang ditanam dengan kondisi tapak (Lewis, 2005; Primavera & Esteban, 2008).

Reklamasi

Berdasarkan pengertian secara umum, reklamasi adalah salah satu upaya pemanfaatan lahan yang digunakan untuk memperluas wilayah daratan. Reklamasi laut sering dilakukan untuk menyediakan ruang bagi aktivitas

ekonomi, permukiman, infrastruktur, dan kebutuhan pembangunan wilayah pesisir. Di kawasan pesisir yang padat penduduk, perluasan daratan ke arah laut kerap dipandang sebagai cara untuk mengatasi keterbatasan ruang. Namun, intensitas eksploitasi yang tinggi dan karakter ekosistem pesisir yang rapuh membuat kawasan pantai menjadi salah satu ekosistem yang paling rentan terhadap kerusakan. Kerusakan yang parah dapat mengganggu sistem alam, menurunkan stabilitas, serta mengurangi keanekaragaman dan keberlanjutan ekosistem pesisir (Ma et al., 2014; Meng et al., 2017).

Laju reklamasi lahan pesisir yang meningkat dapat menghasilkan keuntungan ekonomi dalam waktu relatif singkat dan mendorong perkembangan sosial-ekonomi kawasan pesisir. Namun, reklamasi pantai juga dapat menimbulkan dampak ekologis yang merugikan, seperti hilangnya zona pesisir alami, fragmentasi habitat, perubahan fungsi ekologis, dan penurunan daya dukung sumber daya perikanan (Meng et al., 2017; Wu et al., 2018).

Wu et al. (2018), reklamasi pesisir berdampak terhadap lahan basah melalui kehilangan habitat, degradasi fungsi ekologis, dan penurunan resiliensi ekosistem. Hilangnya lahan basah pesisir dapat mengganggu keseimbangan ekosistem, mengubah proses transport sedimen, menurunkan kualitas habitat, dan menyebabkan hilangnya keanekaragaman hayati.

Gann et al. (2019), ekosistem yang dipulihkan harus memiliki atribut berikut:

a. Keragaman dan struktur komunitas yang serupa

- b. Keberadaan spesies asli
- c. Adanya gugus fungsi yang diperlukan untuk satabilitas jangka panjang
- d. Kapasitas lingkungan fisik untuk menopang populasi reproduksi
- e. Berfungsi normal
- f. Integritas dengan lanskap
- g. Penghapusan potensi ancaman
- h. Ketahanan terhadap gangguan alam
- i. Mampu berdiri sendiri (mandiri).

Kelangsungan hidup organisme yang direstorasi tidak terkait dengan biaya, akan tetapi lebih terkait dengan sifat dinamis dari ekosistem laut dan dengan sifat dari ekosistem laut. Waktu pemulihan pada tahapan restorasi memakan waktu kurang dari 5 tahun, pemulihan penih dari banyak ekosistem laut dan muara pesisir dapat memakan waktu minimal 15 tahun – 25 tahun dari lebih dari satu abad degredasi dan mencapai komposisi dan keanekaragaman biotik asli dan fungsi lengkap mungkin tertinggal jauh dari itu.

Penyebab kegagalan dari suatu proyek restorasi ekosistem laut adalah sering meghadapi masalah yang sama, misalnya kegagalan yang keterkaitannya pada struktur, predasi, badai, polusi dan lain sebagainya. Hal ini juga tidak dapat diprediksi di luar kendali para ilmuwan dan ada beberapa kendala dapat dicegah. Kasus pemilihan lokasi yang buruk juga merupakan kegagalan dalam proyek. Sebelum di lakukan restorasi sebaiknya menentukan kondisi lingkungan di suatu kondisi,

misalnya adalah sedimentasi, arus, konektivitas ke zona yang sangat berfungsi dan tekanan antropik yang ada. Tekanan antropik dapat dilihat dari polusi air, kekeruhan, dan pukat liar atau senyawa yang berbahaya. Keadaan lain, restorasi dapat berfokus pada perbaikan struktur dan fungsi system yang rusak sampai batas tertentu dan atau menyediakan beberapa fungsi yang hilang, misalnya seperti pelabuhan atau lingkungan perkotaan laut.

Contoh kondisi pemulihan lambat, atau stabil, terdegradasi dapat mencakup:

- a. Kerusakan fisik rekayasa habitat (misal; Kawasan terumbu karang yang rata setelah bertahun-tahun melakukan penangkapan ikan dengan bom atau badai parah), dengan pemulihan alami diperkirakan akan memakan waktu bertahun-tahun.
- b. Perubahan biotik yang ekstrim (misal; spesies hama infasive, sediaan yang ditangkap berlebihan, atau penggantian dengan taksa rekayasa ekologi baru), yang dapat menggeser sistem keadaan yang berbeda (yaitu, pergeseran fase; karang menjadi mikroalga.
- c. Perubahan abiotik ekstrim baik kualitas air (misal; dari oligotrofik ke eutofik) atau jenis substrat (substrat keras, dasar lunak, atau perubahan ukuran butir sedimen) karena aktivitas di luar lokasi, seperti yang terjadi di hulu atau di daerah aliran sungai yang berdekatan.

Menerapkan dan menilai restorasi sosial-ekologi, secara teori mengembalikan spesies tunggal atau fungsi ekosistem akan berhasil apabila dengan mengorbankan elemen ekosistem lainnya. Memahami *trade-off* tersebut dan membantu memandu restorasi menuju hasil yang memenuhi berbagai tujuan yang memerlukan fokus pada ekosistem yang sehat. Konsep sosial-ekologi dapat memberikan kerangka kerja untuk menetapkan tujuan restorasi yang realistis serta parameter penilaian yang efektif dan dapat diandalkan. Hubungan yang kuat antara masyarakat manusia dan ekosistem laut merupakan elemen kunci dalam restorasi ekologi terapan dan oleh karena itu harus diintegrasikan dalam rencana restorasi, terutama di negara berkembang, dimana pemicu stres lokal lebih dominan daripada pemicu stres global. Secara keseluruhan, pengembangan alat dan pendekatan restorasi yang efektif dan dapat diskalakan akan dipersulit oleh sifat multidisiplinnya yang luas. Oleh karena itu, jika restorasi ekologi ingin menghasilkan ilmu terapan yang andal, maka diperlukan kolaborasi yang kuat antara pakar ekologi, ekonomi, sosial, serta pemangku kepentingan swasta dan publik dalam pendekatan transdisipliner yang dirancang bersama (Abelson et al., 2016).

➤ Alasan Dilakukan Restorasi Ekosistem Laut

Alasan dilakukannya restorasi pada ekosistem laut disebabkan oleh adanya ketidakseimbangan yang terjadi akibat faktor lingkungan maupun aktivitas manusia yang

menyebabkan ekosistem laut menjadi rusak. Dilihat berdasarkan dinamika dan status kerusakan ekosistem laut itu sendiri, restorasi merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mengembalikan kondisi ekosistem laut agar pulih. Pemanfaatan restorasi juga dapat berimbas kepada masyarakat sekitar, dimana mereka dapat memanfaatkan potensi ekosistem secara optimal tanpa perlu khawatir ekosistem tersebut semakin rusak atau habis. Hal ini berkaitan dengan salah satu tujuan restorasi, yaitu membangun kembali integritas ekologi dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat (Abelson et al., 2016; Clewell & Aronson, 2006; Gann et al., 2019).

Suatu kegiatan restorasi digunakan untuk lingkungan yang mengalami kerusakan, kondisi ekologiannya menurun, atau lingkungan yang belum hancur tetapi telah menunjukkan tanda-tanda degradasi. Penyebab lain dilakukannya restorasi ekosistem adalah adanya pembangunan dan reklamasi di sekitar area ekosistem sehingga menyebabkan kerusakan lingkungan. Bencana alam juga merupakan salah satu faktor penyebab kerusakan lingkungan akibat faktor alam; apabila lingkungan tersebut telah rusak, restorasi diperlukan untuk membantu pemulihan ekosistem (Gann et al., 2019; Ma et al., 2014).

Ekosistem yang membutuhkan restorasi umumnya adalah ekosistem yang telah mengalami perubahan atau kerusakan akibat aktivitas manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung. Program restorasi berupaya memulihkan kembali suatu ekosistem sebagaimana

kondisi rujukan yang diinginkan; oleh sebab itu, mengetahui keadaan awal suatu ekosistem sangat diperlukan sebagai dasar perencanaan program restorasi. Jika pengembalian ekosistem sebagaimana keadaan yang diinginkan terwujud, maka ekosistem yang direstorasi mungkin tidak lagi membutuhkan bantuan pihak luar untuk memastikan keberlanjutan dan integritasnya, sehingga program restorasi dapat dianggap berhasil (Gann et al., 2019).

➤ Tujuan Restorasi Ekosistem Laut

Restorasi ekosistem merupakan usaha untuk memperbaiki atau mengembalikan ekosistem yang telah mengalami degradasi, kerusakan, atau kehancuran. Restorasi ekologi berupaya memulihkan komposisi, struktur, fungsi, dan dinamika ekosistem agar mendekati kondisi rujukan yang sehat dan berkelanjutan (Gann et al., 2019).

Tujuan restorasi adalah mengembalikan struktur dan fungsi ekosistem sedekat mungkin dengan kondisi rujukan melalui intervensi yang sesuai, misalnya rehabilitasi mangrove, transplantasi karang, pemulihan lamun, atau pengurangan tekanan penyebab kerusakan (Abelson et al., 2016; Gann et al., 2019).

Tujuan restorasi memiliki 5 point yang penting. Point yang penting tersebut yaitu:

A. *Conserving Biological Diversity and Evolutionary Heritage* (melestarikan keanekaragaman hayati dan warisan evolusi).

Keanekaragaman hayati memiliki 2 bentuk keanekaragaman yaitu pertama keanekaragaman yang merujuk kepada pengertian jumlah jenis yang terdapat pada suatu areal atau *species richness* dalam suatu ekosistem. Kedua keanekaragaman merujuk kepada jumlah individu yang mewakili setiap jenis. Keanekaragaman jenis dijadikan parameter pokok dalam mengukur pengaruh manusia terhadap lingkungan.

Keanekaragaman hayati dapat menurun atau berkurang karena hilangnya habitat asli, fragmentasi habitat, eksploitasi berlebihan, introduksi spesies asing, pencemaran air, tanah, dan udara, serta perubahan iklim (Díaz et al., 2019).

B. *Restocking Natural Capital* (Mengisi modal alam)

Restorasi modal alam ialah aktivitas yang menyatukan dan mengisi kembali cadangan modal alam untuk meningkatkan kesejahteraan manusia. Restorasi atau pemulihan modal alam berfokus pada pemulihan nilai ekologis sekaligus manfaat bagi manusia, sehingga menempatkan kesehatan dan integritas ekosistem sebagai dasar bagi keberlanjutan sosial-ekonomi. Restorasi ekologis tersebut memiliki tujuan menciptakan ekosistem yang tangguh, mandiri, dan berfungsi baik dalam hal struktur, komposisi spesies, dan fungsi ekosistem (Costanza et al., 1997; Gann et al., 2019).

C. *Reconeccting Humanity With Nature* (Menghubungkan Kembali Manusia Dengan Alam)

Manusia sebagai bagian dari alam masih memiliki kesadaran yang perlu terus diperkuat mengenai pentingnya keseimbangan ekosistem. Manusia telah menjadi salah satu pelaku utama dari kerusakan lingkungan yang terjadi. Salah satu tujuan restorasi adalah menghubungkan kembali manusia dengan alam melalui pemulihan nilai ekologis, sosial, budaya, dan etika lingkungan agar masyarakat terdorong untuk mempertahankan ekosistem yang ada di sekitarnya (Clewel & Aronson, 2006).

D. *Enchancing Ecosystem Services* (Meningkatkan Jasa Ekosistem)

Jasa ekosistem merupakan manfaat yang diperoleh manusia dari suatu ekosistem. Manfaat tersebut mencakup jasa penyediaan seperti pangan dan air, jasa pengaturan seperti perlindungan pesisir dan pengendalian degradasi lahan, jasa pendukung seperti pembentukan tanah dan siklus hara, serta jasa kultural seperti pendidikan, rekreasi, dan nilai spiritual. Dalam konteks terumbu karang, keberhasilan restorasi dapat mendukung ketersediaan habitat ikan, potensi perikanan, dan kegiatan pariwisata yang dikelola secara berkelanjutan (Costanza et al., 1997; Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

E. *Testing Ecological Theories* (Menguji Teori Ekologi)

Total luas wilayah dari lautan tropis di Indonesia 5,8 juta km² dan terdiri dari laut teritorial sebesar 0,3 juta

km². Laut teritorial membatasi bagian terluar Indonesia dengan lebar jalur 12 mil (1 mil = 1,609 km), Sedangkan luas dari perairan kepulauan adalah 2,8 juta km². Perairan kepulauan sering biasa disebut dengan perairan Nusantara yaitu perairan yang berada di bagian dalam kepulauan Indonesia. Selain dari laut teritorial di perairan kepulauan juga terdapat Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) yang memiliki lebar seluas 200 mil atau seluas 2,7 juta km².

Istilah ekologi berasal dari bahasa Yunani, yaitu *oikos* yang berarti rumah atau tempat tinggal. Dalam konteks laut, ekologi memerlukan dukungan beberapa disiplin ilmu, antara lain fisika, kimia, geologi laut, dan biologi. Geologi laut menjelaskan prinsip serta proses pembentukan basin, palung, dan bentuk dasar laut lain; fisika laut menjelaskan proses gelombang, arus, pasang, dan *upwelling*; sedangkan kimia laut menjelaskan prinsip pengukuran unsur anorganik dan organik dalam air laut (Cushing & Walsh, 1976).

➤ Konsep Restorasi Ekosistem Laut

Konsep restorasi ekosistem laut mencakup restorasi berbagai ekosistem utama, termasuk terumbu karang, mangrove, dan lamun. Pendekatan yang digunakan perlu disesuaikan dengan karakter ekosistem, tingkat kerusakan, tujuan pemulihan, serta kondisi sosial-ekologis kawasan (Abelson et al., 2016; Rinkevich, 2019).

Konsep Restorasi Terumbu Karang

Dalam restorasi terumbu karang, beberapa pendekatan teknis yang umum digunakan meliputi transplantasi karang, penggunaan *nursery*, penempatan substrat buatan, dan metode coral gardening. Struktur buatan dapat digunakan sebagai media penempelan fragmen karang, tetapi keberhasilannya sangat dipengaruhi oleh pemilihan lokasi, stabilitas substrat, kualitas air, sedimentasi, arus, dan perlindungan dari tekanan antropogenik (Boström-Einarsson et al., 2020; Rinkevich, 2019).

Rinkevich (2019), kotak alat restorasi terumbu aktif merupakan kendaraan untuk meningkatkan ketahanan dan adaptasi karang di dunia yang berubah. Konsep coral gardening dilakukan melalui proses dua langkah, yaitu fase pembibitan untuk mengembangkan stok koloni karang di *nursery* dan fase transplantasi ketika koloni yang telah sesuai ukuran dipindahkan ke kawasan terumbu yang terdegradasi.

Konsep berkebun karang aktif telah muncul sebagai metode yang lebih terstruktur dibandingkan pendekatan transplantasi langsung dari lokasi donor ke lokasi rusak. Metode *nursery*, termasuk *nursery* mengapung di kolom air, memungkinkan berkurangnya persaingan terhadap sumber daya seperti substrat dan cahaya, perlindungan yang lebih baik terhadap predasi, pengurangan dampak sedimentasi, serta peningkatan aliran air untuk mendukung pasokan nutrisi (Rinkevich, 2019).

Dalam restorasi atau rehabilitasi terumbu karang, pemilihan lokasi menjadi faktor penting. Pertimbangan lokasi meliputi visibilitas yang cukup, arus dan gelombang yang relatif kecil, kondisi topografi dan kedalaman yang sesuai, stabilitas substrat, kualitas air, serta akses yang aman untuk kegiatan peletakan, pemeliharaan, dan pemantauan (Boström-Einarsson et al., 2020; Rinkevich, 2019).

Konsep Restorasi Mangrove

Dalam restorasi mangrove, konsep zona penyangga, rehabilitasi lahan bekas tambak, dan penguatan tata kelola masyarakat menjadi bagian penting dari pendekatan pemulihan. Restorasi dan rehabilitasi mangrove bertujuan untuk melakukan konservasi, memulihkan fungsi ekologis kawasan, serta meningkatkan manfaat sosial-ekonomi masyarakat melalui pemanfaatan ekosistem mangrove secara bijak (Gerona-Daga & Salmo, 2022; Lewis & Brown, 2014).

Dalam kegiatan restorasi ekosistem mangrove, beberapa aspek perlu diperhatikan, antara lain karakteristik sosial-ekonomi masyarakat, pola penggunaan sumber daya alam, kualitas perairan, kondisi pantai, habitat ekosistem pesisir, status penggunaan lahan, dan kebijakan pemerintah daerah. Data primer dan sekunder melalui pengamatan lapangan, wawancara, dan diskusi dengan pemangku kepentingan dapat digunakan untuk menilai kesiapan lokasi dan merancang restorasi ekosistem mangrove secara terpadu (Lewis, 2005; Rudianto, 2014).

Konsep monitoring berkelanjutan dalam restorasi mangrove dilakukan melalui survei dan sampling ekosistem secara berkala. Penentuan stasiun, plot, transek, dan subtransek dapat disesuaikan dengan tujuan pemantauan, variasi habitat, serta gradien dari tepi laut ke arah daratan. Monitoring berkala diperlukan untuk memastikan keberhasilan penanaman, kelangsungan hidup, pertumbuhan, regenerasi alami, dan pemulihan fungsi ekosistem mangrove (Gerona-Daga & Salmo, 2022; Lewis & Brown, 2014).

Restorasi Ekosistem Laut

Abelson et al. (2016), konsep restorasi ekosistem laut yang digunakan ini yaitu ekologi restorasi. Dimana ekologi restorasi atau restorasi ekologi ini mencakup berbagai bentuk intervensi. Berbagai bentuk ini juga berbeda dalam cara atau dampak pengaruhnya terhadap biota dan atau kondisi fisik di suatu situs untuk memulihkan struktur dan fungsi keadaan seperti semula. Tujuan dari restorasi ekologi ini yaitu untuk mengembalikan system seperti semula yaitu keadaan yang sebanding dengan yang tidak atau belum terpengaruh oleh gangguan antropogenik modern sehingga habitat target restorasi ini ke kondisi yang sehat. Konsep restorasi ini juga dapat berfokus pada perbaikan struktur dan fungsi system yang rusak sampai ke batas tertentu. Konsep yang lain yang digunakan adalah konsep restorasi sosial-ekologis. Ekosistem laut terkait erat dengan komunitas manusia pesisir yang saling mempengaruhi satu sama lain. Istilah ekosistem laut disini lebih mengacu kepada berbagai ekosistem laut

bentik, dari lingkungan suprelitoral dan intertidal sampai ke lingkungan subtidal. Penerapan konsep inilah yang menarik para ilmuwan dan para pembuat kebijakan, dapat memfasilitasi kolaborasi antara mereka dan praktisi terkait serta dapat mengurangi konflik antara pemangku kepentingan.

➤ Prinsip Restorasi Ekosistem Laut

Prinsip restorasi ekosistem laut digunakan sebagai acuan dalam melakukan kegiatan pemulihan ekosistem yang telah rusak dengan menggunakan dasar-dasar dari prinsip tersebut. Dalam kegiatan restorasi, prinsip ekologis menekankan bahwa pemulihan perlu memperhatikan komposisi spesies, struktur komunitas, fungsi ekosistem, ketahanan, kondisi abiotik, serta manfaat sosial-ekonomi. Proses restorasi secara ekologi yang dilakukan karena adanya kerusakan maupun akibat dari pembangunan konstruksi baru perlu diupayakan tanpa melebihi kemampuan sistem alam. Restorasi dilakukan untuk memulihkan kembali fungsi ekosistem yang telah menurun, hancur, atau terdegradasi agar mendekati kondisi rujukan yang sehat dan berkelanjutan (Gann et al., 2019).

Restorasi dilakukan tanpa menghilangkan ekosistem yang masih tersisa atau ekosistem asli di kawasan tersebut. Dalam proses restorasi ekologi, pengenalan kembali spesies asli, pengendalian spesies invasif, pemulihan kondisi abiotik, dan pengurangan ancaman merupakan prinsip penting agar proses ekologis dapat

kembali berjalan. Kendala restorasi biasanya muncul ketika kerusakan ekosistem telah terjadi berulang kali sehingga kondisi rujukan sulit dikenali dan pemulihan alami menjadi lambat (Gann et al., 2019).

Apabila pemulihan suatu ekosistem berhasil sesuai dengan kondisi rujukan, maka ekosistem tersebut semakin tidak memerlukan intervensi dari luar untuk mempertahankan keberlanjutan dan integritasnya. Dalam proses restorasi ekologis, manusia berperan membantu, mengendalikan, dan memantau proses pemulihan, sementara komponen ekosistem didorong agar mampu memulihkan diri secara alami. Namun, penanganan berkelanjutan tetap diperlukan untuk menghadapi gangguan manusia, spesies invasif, perubahan iklim, dan ancaman alam yang tidak terduga (Gann et al., 2019).

Kegiatan restorasi ekologis dapat dilakukan ketika suatu ekosistem belum sepenuhnya rusak sehingga proses pemulihannya secara alami masih lebih mungkin terjadi. Praktisi restorasi berperan membantu tahap pemulihan, memperbaiki kondisi ekosistem yang telah rusak, serta memantau hingga struktur dan fungsi ekosistem mendekati kondisi rujukan. Dalam restorasi ekosistem laut, perhatian juga perlu diberikan pada efektivitas biaya, kondisi fisika-kimia lingkungan, organisme hidup, dan hubungan sosial-ekologis kawasan (Abelson et al., 2016; Gann et al., 2019; Jacob et al., 2018).

Prinsip restorasi yang dilakukan harus mempertahankan unsur kelestarian pada ekosistem yang akan diperbaiki (Gann et al., 2019). Berdasarkan prinsip ekosistem laut, terdapat empat prinsip sebagai berikut:

- A. Ekosistem harus diperhatikan dalam keadaan yang diinginkan dengan cara sedemikian rupa
 - a. Nilai-nilai konsumtif dan non-konsumtif dapat dimisalkan secara berkelanjutan.
 - b. Opsi sekarang dan masa depan dipastikan
 - c. Resiko perubahan yang tidak dapat diubah atau efek samping jangka panjang sebagai hasil penggunaan diminimalkan
- B. Keputusan manajemen harus memasukkan faktor keamanan sebagai kemungkinan fakta bahwa pengetahuan yang terbatas dan institusi tidak sempurna.
- C. Tindakan pelestarian sumber daya kehidupan harus dirumuskan dan diterapkan untuk menghindari penggunaan sumber daya lain yang sia-sia.
- D. *Survey* atau pemantauan dan analisis harus mendahului perencanaan menggunakan dan menyertai penggunaan actual sumber daya.

Prinsip-prinsip tersebut menurut Gann et al. (2019) berfokus pada tujuan ekologis, seperti konservasi sumber daya hayati, pemulihan fungsi ekosistem, ketahanan, dan keberlanjutan jangka panjang.

Restorasi ekologi merupakan proses untuk membantu pemulihan ekosistem yang telah terdegradasi, rusak, atau hancur. Setelah kegiatan restorasi selesai, ekosistem yang berhasil dipulihkan diharapkan mampu mengatur diri sendiri, semakin mandiri, tahan terhadap gangguan, dan mempertahankan struktur serta fungsinya pada lanskap lokal. Dengan kata lain, tujuan restorasi adalah memulihkan ekosistem yang rusak menuju kondisi yang memiliki atribut ekologis yang utuh dan berkelanjutan (Gann et al., 2019).

BAB II

KERUSAKAN EKOSISTEM LAUT

➤ Pengertian Kerusakan

Kerusakan Lingkungan hidup menurut Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan merupakan Perubahan langsung dan/atau tidak langsung terhadap sifat fisika, kimia dan/atau hayati lingkungan hidup yang melampaui kriteria baku kerusakan lingkungan hidup. Kerusakan atau pencemaran lingkungan juga disebutkan dalam pasal 1 butir 14 Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang perlindungan dan pengelolaan Lingkungan Hidup, Pencemaran/Kerusakan lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan/atau komponen lain kedalam lingkungan oleh tindakan dari kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan. (UU No. 32 Tahun 2009; Halpern et al., 2008).

Kerusakan alam yang telah terjadi terdapat sebab-akibat dalam hubungan antara manusia dengan alam. Faktor ini menyimpulkan bahwa pengertian dari kerusakan yang disebutkan oleh Millennium Ecosystem Assessment (2005), kerusakan lingkungan merupakan hubungan yang tidak seimbang antara manusia dengan keadaan lingkungan alam itu sendiri. Kerusakan juga meliputi pencemaran dari berbagai aspek yang

merugikan lingkungan. Contoh aspek kerusakan pencemaran air, pencemaran udara, dan adanya pencemaran tanah. Kerusakan dapat mempengaruhi kondisi di lingkungan hidup serta makhluk hidup yang tinggal di lingkungan tersebut (Díaz et al., 2019; Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

➤ **Faktor Penyebab Kerusakan**

Faktor Internal (Halpern et al., 2008; Waycott et al., 2009).

Faktor internal penyebab kerusakan ekosistem laut penyebab lingkungan ekosistem mengalami kerusakan meliputi faktor internal strategis atau *Internal Factor Analysis Summary* IFAS. Faktor internal penyebab kerusakan didalam lingkup ekosistem laut atau terjadi di wilayah ekosistem. Faktor ini tidak mempunyai jangkauan yang luas. Akibat kerusakan yang ada meliputi ekosistem yang tidak seimbang, dimana terjadi perubahan fungsional pada biota dan gangguan pada rantai makanan. Contoh faktor internal yang terjadi di ekosistem hutan mangrove adanya gangguan serangan hama pada tanaman yang menghambat laju pertumbuhan tumbuhan mangrove (Novianty et al., 2011).

Faktor Eksternal

Faktor eksternal yang ada di ekosistem laut termasuk dalam *External Strategic Factor Analysis* atau EFAS. Faktor eksternal berasal dari gangguan atau ancaman yang berada di luar kawasan ekosistem. Faktor eksternal meliputi erosi, sedimentasi, pencemaran sampah, penebangan

pohon mangrove, pemburuan satwa dan adanya limbah yang dibuang secara sembarangan. Faktor ini berasal dari sebagian besar kegiatan diluar kawasan ekosistem laut. Fokus terutama pada limbah domestik dari bahan anorganik plastik dan sejenisnya yang dapat merusak kawasan pesisir dan laut dangkal (Halpern et al., 2008; Jambeck et al., 2015).

➤ **Gangguan**

Dampak ekologi dari suatu gangguan tergantung pada intensitas dan frekuensinya, pada distribusi spasial (atau pola spasial) dan ukuran petak yang terganggu, dan pada skala (luas spasial) gangguan tersebut. Meskipun mekanisme suksesi dalam kompleks ekosistem laut belum dipahami dengan baik, pemulihan ekosistem ini juga dipengaruhi oleh intensitas gangguan (Pickett & White, 1985; Sousa, 1984). Oleh karena itu ada beberapa faktor yang berpengaruh dalam terjadinya gangguan yakni: (Halpern et al., 2008).

Intensitas

Gangguan berdasarkan intensitasnya dapat dibedakan menjadi tiga yaitu gangguan ringan apabila struktur dsar suatu ekosistem tidak terganggu dan hanya mengalami kerusakan kecil. Gangguan moderat apabila struktur ekosistem rusak berat namun produktivitas tanah tidak menurun, sedangkan gangguan berat apabila struktur ekosistem rusak berat atau hancur dan produktivitas tanah menurun (Pickett & White, 1985; Sousa, 1984).

Waktu

Berdasarkan lamanya gangguan terjadi dibedakan menjadi gangguan jangka pendek, gangguan jangka menengah, dan gangguan jangka panjang. Lahan bekas tambang membutuhkan upaya retorasi untuk mencegah lahan dari kerusakan lingkungan, lahan bekas tambang dikategorikan dalam gangguan jangka panjang (Pickett & White, 1985; Sousa, 1984).

➤ Respon Ekosistem Terhadap Gangguan

Alam berperan besar dalam kehidupan manusia. Peran luar biasa yang diberikan oleh alam tidak terlepas dari jasa alam itu sendiri yang dikenal dengan jasa ekosistem. Kerusakan yang terjadi di berbagai ekosistem, menyebabkan komponen-komponen penyusun ekosistem seperti keanekaragaman spesies dan keanekaragaman jenis juga terganggu (Holling, 1973; Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Setiap ekosistem memiliki respon berbeda terhadap gangguan. Respon ekosistem terhadap gangguan sesuai dengan kemampuan ekosistem untuk beradaptasi. Ketahanan adalah fitur ekosistem yang memberikan kemungkinan ekosistem dapat pulih kembali ke keseimbangan aslinya sebelum terjadi gangguan. Melihat hal tersebut dapat dikatakan bahwa ekosistem yang mengalami gangguan kemungkinan untuk kembali ke keadaan semula tergantung pada daya tangguh yang dimiliki oleh ekosistem (Holling, 1973; Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Gangguan yang melebihi

ketahanan ekosistem, akan menghasilkan dinamika yang mengarah pada pembentukan kondisi ekosistem yang menyimpang dari ekosistem sebelumnya. Jenis-jenis respon ekosistem pada gangguan yakni:

Stress

Istilah stres secara umum sebagai tanggapan terhadap entitas biologis (individu, populasi, komunitas, dll.) terhadap gangguan / tekanan. Stress umumnya terbagi menjadi dua, yaitu stress akut dan stress kronis. Stress akut adalah penyebab stres yang terjadi dalam jangka waktu yang lama waktu yang relatif singkat tetapi memiliki pengaruh gangguan jangka panjang, misalnya: tumpahan minyak, *Harmful Algal Blooms* (HAB), dan perubahan iklim. Sedangkan penyebab stres kronis adalah salah satunya terjadi pada tingkatan rendah tetapi terus terjadi dalam jangka panjang, seperti polusi udara, pencemaran logam berat, dan pemanasan global. Stres dapat menghambat pertumbuhan produktivitas lingkungan, tetapi tidak mengancam integritas dan kesehatan ekosistem. Umumnya stress dapat mengakibatkan kematian atau melemahkan tumbuhan dan hewan yang menghuni ekosistem tersebut (Crowe et al., 2000).

Gangguan Sedang

Gangguan sedang lebih parah daripada gangguan stres, yang biasanya berulang tetapi tidak cukup untuk menyebabkan kerusakan berat. Gangguan sedang terjadi yang menyebabkan kerusakan fisik tanpa mengubah

dasar ekosistem. Tingkat kerusakan habitat dapat diketahui dengan pendekatan vegetasi. Analisis vegetasi menggunakan indikator yang mampu digunakan untuk menggambarkan keadaan vegetasi tersebut yaitu meliputi kekayaan spesies, keragaman spesies, kelimpahan dan frekuensi vegetasi. Kondisi lingkungan mampu mempengaruhi perkembangan dan pertumbuhan vegetasi, sehingga parameter lingkungan yang diukur meliputi faktor iklim seperti suhu dan kelembaban, serta faktor tanah seperti pH, suhu dan kandungan material organik dalam tanah (Magurran, 2004).

Gangguan Parah

Gangguan ini disebabkan oleh kerusakan parah, baik secara tiba-tiba maupun berkepanjangan. Ekosistem tidak mampu bertahan dengan tingkat kerusakan ini, sehingga ekosistem mengalami perubahan akibat kerusakan yang terkadang bersifat permanen dan keanekaragaman hayati berubah. Restorasi ekologi adalah penangkal khusus kerusakan dan mungkin satu-satunya pilihan untuk memulai kembali atau mempercepat proses ekologi untuk mendorong pemulihan. Tidak ada jaminan bahwa pemulihan atau pemulihan spontan akan memulihkan keadaan sebelum mengalami kerusakan, kecuali memiliki homeostatis (Holling, 1973; Suding et al., 2004)

Berdasarkan suatu uraian, kondisi ekosistem yang seimbang (*homeostasis*) berarti ekosistem tersebut stabil atau telah mencapai klimaks, sehingga ekosistem tersebut memiliki ketahanan yang besar dalam menghadapi berbagai gangguan yang menyimpannya. Ketahanan suatu

ekosistem dalam menghadapi gangguan sangat bergantung pada umur ekosistem tersebut. Ekosistem muda tentunya memiliki ketahanan yang lebih rendah dibandingkan ekosistem dewasa (Holling, 1973; Suding et al., 2004)

Dalam respon ekosistem dalam gangguan terdapat tingkatan yakni:

- a. Degradasi, yakni terjadi jika gangguan berkepanjangan dan bukan parah
- b. Kerusakan, yakni istilah yang digunakan untuk gangguan yang signifikan, atau penurunan nilai, yang terjadi dalam satu peristiwa dampak atau gangguan yang akut.
- c. Kehancuran, yakni kerusakan utama dari gangguan

➤ *Disturbance Heterogeneity*

Gangguan dalam ekologi dapat menciptakan keadaan yang mendorong heterogenitas pada skala komunitas dalam suatu daerah atau ekosistem. Perubahan komunitas secara alami dari waktu ke waktu disebut suksesi, yang dalam prosesnya tidak dapat dihindarkan dari kondisi fisika-kimia dari lingkungan ekosistem. Dalam suksesi, satu atau dua spesies akan mengalami penurunan populasi dan spesies lain meningkat, hal ini karena setiap spesies memiliki toleransi yang berbeda untuk lingkungan tinggalnya (Pickett & White, 1985; Sousa, 1984).

Gangguan heterogen pada ekologi sangat beragam, hal tersebut juga dipengaruhi oleh beberapa faktor terutama faktor antropogenik yang memainkan peran besar dalam menjadi gangguan bagi ekologi. Selain dari faktor antropogenik terdapat faktor alam, dimana bencana alam dapat menyebabkan beberapa kerusakan yang tidak dapat dihindari. Faktor alam dan antropogenik yang menyebabkan gangguan dalam ekologi yaitu:

Faktor Alam

Bencana alam dapat menyebabkan kerusakan pada ekologi, bencana alam yang sering terjadi di Indonesia adalah gempa bumi, tanah longsor, banjir, tsunami dan badai. Letusan gunung merapi dan gempa bumi dapat menyebabkan kerusakan pada permukaan bumi, dimana tanah mengalami retakan, pohon tumbang, bangunan rusak dan lainnya (Pickett & White, 1985; Sousa, 1984). Banjir merupakan bencana alam yang sering terjadi terutama pada daerah di sepanjang sungai besar dan daerah pesisir, banjir dapat disebabkan faktor alam dan faktor manusia. Faktor alam apabila terjadi hujan yang terus-menerus hingga melebihi kapasitas sungai dan daerah resapan, serta terjadinya kenaikan muka air laut. Faktor manusia yaitu oleh kegiatan manusia yang membuang sampah disungai, melakukan penebangan pohon dan tidak menanam vegetasi tutupan lahan di daerah pesisir.

Faktor Antropogenik

Faktor antropogenik merupakan hal yang berkaitan dengan aktivitas manusia. Pemanasan global merupakan dampak dari aktivitas manusia dalam penggunaan sumberdaya fosil sehingga menghasilkan gas karbondioksida, serta kegiatan lain yang menimbulkan polusi. Pemanasan global terjadi karena peningkatan karbondioksida yang menyelimuti bumi. Dalam ekologi, pemanasan global dapat menjadi gangguan bagi ekosistem di darat maupun perairan. Aktivitas lain yang dapat merugikan ekologi adalah pembuangan limbah dalam perairan, pembuangan limbah jika tidak dikelola dapat menimbulkan pencemaran. Pencemaran lingkungan dapat mengakibatkan menurunnya keanekaragaman hayati pada ekosistem karena rusaknya lingkungan mereka (Pickett & White, 1985; Sousa, 1984).

➤ Konsekuensi Kerusakan Ekologi

Kerusakan ekologi dapat mempengaruhi makhluk hidup yang tinggal didalamnya dan lingkungan sekitar secara langsung maupun tidak langsung, serta dapat mempengaruhi ekonomi masyarakat. Kerusakan ekosistem laut terutama berdampak buruk bagi biota laut, salah satunya adalah menurunnya populasi dan keanekaragaman ikan. Terdapat pula beberapa konsekuensi dari kerusakan ekologi bagi lingkungan dan biota, yaitu sebagai berikut:

Hilangnya spesies

Hilangnya populasi suatu spesies dapat disebabkan oleh kerusakan ekologi dimana habitat asli mengalami degradasi dan intensitas penangkapan yang tinggi. Spesies tertentu memiliki peran fungsional dalam rantai makanan dan keberadaannya berkaitan dengan parameter lingkungan perairan. Hilangnya spesies dapat menyebabkan ketidakseimbangan dalam rantai makanan yang dapat meningkatkan ledakan populasi spesies tertentu. Salah satu spesies ikan yang mengalami penurunan populasi adalah ikan Banggai cardinalfish (*Pteropagon kaudeni*), ikan ini rentan akan kerusakan habitat akibat penangkapan yang merusak dan berlebihan (Wilson et al., 2006).

Beberapa spesies ikan hanya dapat dijumpai di lingkungan tertentu, umumnya keberadaan spesies tersebut dapat digunakan sebagai indikator ekologi suatu habitat atau ekosistem. Spesies ikan dari famili *Chaetodontidae* hidup di daerah terumbu karang dan keberadaannya melimpah pada kondisi ekosistem terumbu karang yang sehat. Namun adanya kerusakan pada ekosistem terumbu karang dapat menyebabkan spesies ikan dari famili *Chaetodontidae* berpindah ke tempat lain atau tidak dapat mempertahankan populasinya, karena kehilangan habitat (Wilson et al., 2006).

Kolonisasi oleh Spesies Invasif

Kolonisasi merupakan proses berkumpulnya biota-biota sejenis yang mengelompok membentuk suatu koloni pada

habitat baru. Kolonisasi terjadi melalui beberapa tahapan dan keberhasilannya di dukung oleh beberapa persyaratan lingkungan yang sesuai (Carlton & Geller, 1993). Adanya faktor abiotik dan biotik mendukung populasi suatu spesies untuk menyebar melewati habitat aslinya. Kemampuan adaptasi dan laju perkembangannya akan sangat mempengaruhi kemungkinan spesies tersebut menjadi dominan dan invasif, sehingga dapat menekan pertumbuhan spesies asli dan merubah struktur ekosistem yang terinvasi (Carlton & Geller, 1993; Molnar et al., 2008).

Ekosistem laut yang telah terdegradasi atau rusak akibat faktor antropogenik lebih rentan terhadap spesies invansif karena kurangnya persaingan dengan spesies asli dan dapat menurunkan keanekaragaman spesies lokal. Bintang laut merupakan salah satu spesies invasif yang menyerang terumbu karang sehingga merusak ekosistem terumbu karang dan mempengaruhi produksi ikan karang yang berpijah di daerah karang. Daerah dan ekosistem di Indonesia pada dasarnya berpotensi untuk terinroduksi oleh spesies asing baik berupa tanaman, ikan, hewan, maupun mikroorganisme. Ledakan populasi suatu spesies dalam ekosistem berkaitan dengan beberapa faktor, terutama gangguan dan faktor antropogenik yang menyebabkan ketidakseimbangan dalam ekosistem (Carlton & Geller, 1993; Molnar et al., 2008).

Penyederhanaan Struktur Komunitas

Struktur komunitas organisme perairan di pengaruhi oleh keadaan ekosistem dan parameter lingkungan. Kondisi

lingkungan perairan dapat ditentukan melalui indeks keanekaragaman (Magurran, 2004). Suatu komunitas dapat dikatakan memiliki keanekaragaman yang tinggi ketika proporsi antar jenis organisme secara keseluruhan sama banyak (Wilson et al., 2006). Namun, adanya kerusakan pada ekosistem laut mengakibatkan beberapa spesies biota yang tidak mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungan mengalami kematian atau berpindah tempat. Hal ini menyebabkan penyederhanaan pada struktur komunitas di ekosistem tersebut, sehingga keanekaragaman hayati di daerah tersebut mengalami penurunan.

Trophic Cascade

Penangkapan ikan yang berlebihan dan penggunaan alat tangkap yang merusak dapat menyebabkan kerusakan pada ekosistem perairan laut. Faktor antropogenik tersebut juga dapat mempengaruhi ketidakseimbangan pada struktur komunitas, dan trophic cascade adalah efek dari ketidakseimbangan tersebut. Dalam Trophic cascade efek top-down merupakan interaksi yang menunjukkan pengaruh predator terhadap kelimpahan pada tingkatan di bawahnya, dan efek bottom-up dimana menunjukkan pengaruh produsen utama terhadap tingkatan trofik di atasnya (Pace et al., 1999).

Efek *top-down* menghasilkan trofik cascade dimana predator teratas memangsa konsumen di bawahnya dan menyebabkan perubahan pada trofik yang lebih rendah pada jaring makanan. Predasi yang dilakukan pada tingkatan di bawahnya dapat mengurangi kepadatan

mangsanya, sehingga trofik dibawah mangsa tersebut berlimpah. Efek bottom-up dimana produsen utama membatasi tingkatan di atasnya (Pace et al., 1999).

BAB III

REHABILITASI EKOSISTEM TERUMBU KARANG

➤ Definisi Karang dan Terumbu Karang

Karang merupakan hewan yang mempunyai polip dimana karang termasuk dalam filum cnidaria. Bentuk sederhana dari yang dimiliki karang yaitu karang mempunyai satu polip. Koloni merupakan individu karang dapat berkembang menjadi banyak individu. Polip karang mempunyai bentuk seperti kantung berserat dengan disertai cincin tentakel yang mengelilingi mulut (Veron, 2000; Edwards & Gomez, 2007). (Edwards & Clark, 1999; Boström-Einarsson et al., 2020).

Jenis karang mampu mendominasi di suatu tempat tergantung dengan kondisi lingkungan karang tersebut untuk dapat hidup. Jenis karang dalam suatu habitat dapat hidup mendominasi oleh jenis karang tertentu. Karang dibedakan menurut pertumbuhannya dibagi menjadi dua yaitu acropora dan non acropora. Perbedaan karang menurut pertumbuhan ini terletak pada morfologinya. Morfologi tersebut dapat berupa karang tipe *branching*, *massive*, *encrusting*, *foliose*, dan *tabulate* (Done, 1982; Veron, 2000).

Bentuk pertumbuhan dari beberapa jenis karang juga bervariasi tergantung dimana karang tersebut hidup. Bentuk pertumbuhan karang dibagi menjadi dua yaitu karang acropora dan karang non acropora. Karang acropora mempunyai ciri yaitu mempunyai axial coralit dan radial coralit. Jenis karang non acropora hanya mempunyai ciri berupa radial koralit saja (Veron, 2000).

Ukuran terumbu dapat mempengaruhi adanya jumlah individu spesies, jumlah total dan biomassa. Bentuk pertumbuhan yang dimiliki karang banyak ragamnya salah satu bentuk pertumbuhan tersebut seperti karang bercabang dan karang masif. Apabila dilihat dari segi morfologinya karang massive dan karang bercabang tentulah sangat berbeda. Karang bercabang mempunyai permukaan yang melingkar dan lebih luas sedangkan karang massive mempunyai permukaan yang datar (Done, 1982; Darling et al., 2013).

Variasi karakter dari morfologi karang meliputi adanya variasi antar koloni dalam biotop yang sama, adanya variasi bentuk koralit dalam satu koloni yang sama, adanya variasi antara kondisi fisik lingkungan yang berbeda, adanya variasi yang bukan pada rangka tetapi pada poli, adanya variasi dalam wilayah dan adanya morfologi pada bagian yang berbeda dalam koloni yang sama. Terumbu karang adalah ekosistem yang terbuat dari biota laut yang dapat menghasilkan kapur terutama hewan karang dan bersama biota lain yang hidup di dasar maupun di kolom perairan (Veron, 2000; Edwards & Gomez, 2007).

Terumbu karang adalah ekosistem yang berperan penting di pesisir dalam menjaga stabilnya lingkungan perairan. Terumbu karang komponen yang mempunyai manfaat penting dalam ekosistem. Manfaat tersebut terletak dalam ekologis seperti tempat pengasuhan daerah pembesaran daerah pemijahan dan tempat mencari makan bagi biota perairan. Terumbu karang jika bermanfaat sebagai pemecah gelombang dan abrasi secara ekonomi terumbu karang memiliki manfaat antara lain sumber pangan, sumber bahan baku untuk kegiatan industri pariwisata dan lapangan pekerjaan. Terumbu karang adalah ekosistem dengan tingkat produktivitas tinggi yang terletak di daerah tropis. Ekosistem terumbu karang terletak pada perairan jernih banget kaya kandungan CaCO_3 produktif. Berbagai koloni jenis karang dari beragam genus yang tumbuh bersama pada suatu daerah tertentu dengan warna dan bentuk yang khas menyebabkan ekosistem terumbu karang menjadi pemandangan yang indah di dasar laut (Moberg & Folke, 1999).

Terumbu karang salah satu ekosistem yang rentan terhadap perubahan lingkungan. Perubahan lingkungan ini dapat diakibatkan oleh faktor alami meliputi badai, gempa bumi,, tsunami, perubahan iklim, pemanasan global dan faktor manusia (*autogenic*). Terumbu karang adalah sumberdaya terbarukan dimana sumberdaya ini memiliki fungsi baik dari fungsi ekologis budaya sosial ekonomis terutama bagi masyarakat pesisir serta pulau-pulau kecil. Kerusakan terumbu karang di Indonesia

sebagian besar diakibatkan oleh adanya aktivitas manusia seperti penangkapan ikan menggunakan bahan peledak, zat beracun, alat tangkap yang pengoperasiannya merusak, penambangan pencemaran perairan oleh limbah domestik, pertanian, industri dari kegiatan di darat dan di laut, siltasi, sedimentasi, penambangan batu karang serta reklamasi pantai (Hughes et al., 2003; Hoegh-Guldberg et al., 2007).

Terumbu karang terbentuk dari suatu endapan massif kalsium karbonat dimana CaCO_3 diperoleh dari karang yang dapat membentuk terumbu. Terumbu karang mampu bersimbiosis dengan zooxantellae. Terumbu karang memiliki peranan yang signifikan sehingga ekosistem terumbu karang memiliki biodiversitas dan produktivitas yang tinggi. Karang akan berhenti pertumbuhannya apabila berada di tempat yang teduh dan juga akan mati apabila kondisi ini berlanjut. Karang mempunyai pertumbuhan yang lambat serta laju pertumbuhan koloni karang berbeda beda. Perbedaan ini disebabkan oleh wilayah karang tersebut hidup, umur karang dan perbedaan spesies (Done, 1982; Veron, 2000).

➤ **Pengertian Transplantasi Karang**

Kondisi terumbu karang di dunia dan di Indonesia sendiri terus mengalami penurunan akibat kerusakan. Kerusakan ini diakibatkan oleh faktor alami maupun faktor manusia. Salah satu upaya dalam mencegah terjadinya kerusakan terumbu karang yaaitu dengan upaya merehabilitasi kawasan terumbu karang tersebut dengan menggunakan

teknik transplantasi. Rehabilitasi kawasan terumbu karang dengan menggunakan metode teknik transplantasi dapat meningkatkan persentase tutupan karang hidup yang kemudian dapat dijadikan sebagai habitat baru untuk ikan karang (Edwards & Clark, 1999; Boström-Einarsson et al., 2020). (Edwards & Clark, 1999; Rinkevich, 2019).

Mengembalikan ekosistem secara cepat dan alami memerlukan waktu yang lama terutama ekosistem terumbu karang. Tanam karang merupakan cara dalam pembuatan kawasan perairan yang tidak mempunyai tutupan karang yang dikarenakan oleh suatu hal. Tanam karang ini dapat dengan menggunakan metode seksual maupun aseksual. Metode akseksual berupa transplantasi karang dengan menggunakan media tertentu. Metode transplantasi karang adalah mengambil sebagian koloni karang yang selanjutnya yang telah diambil kemudian diikat atau ditempelkan pada media yang telah ditentukan agar menjadi koloni yang baru (Edwards & Gomez, 2007; Rinkevich, 2019).

Transplantasi karang adalah memotong cabang karang yang masih hidup kemudian ditanam di lokasi tertentu. Pelaksanaan untuk transplantasi karang harus memperhatikan beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya keberhasilan transplantasi karang. Faktor tersebut seperti tipe substrat, tempat fragmen diletakkan, jenis karang dan ukuran fragmen (Yap et al., 1998; Edwards & Gomez, 2007).

Teknologi transplantasi karang merupakan salah satu cara alternatif untuk upaya memulihkan terumbu karang yang rusak. Upaya ini melalui proses pencakokan atau pemotongan karang hidup untuk ditanam di tempat lain atau karang yang mengalami kerusakan dengan tujuan untuk pemulihan atau pembentukan terumbu karang alami. Transplantasi karang merupakan pemindahan penanaman karang di tempat yang berbeda dengan menggunakan teknik fragmentasi karang. Ukuran fragmen semakin panjang maka semakin cepat pula laju pertumbuhannya. Apabila pengambilan fragmen yang terlalu panjang maka dapat mengakibatkan eksploitasi yang berlebihan pada koloni karang induk, sehingga diperlukan ukuran fragmen yang tepat dan sesuai untuk digunakan transplantasi karang. Pertumbuhan karang selalu menuju ke arah datangnya sinar matahari (Yap et al., 1998; Lirman & Schopmeyer, 2016)

Transplantasi karang merupakan proses pemindahan sebagian spesimen karang ke tempat lain dengan menggunakan substrat buatan maupun substrat yang ada di lokasi penanaman. Transplantasi ini bertujuan untuk mempercepat regenerasi terumbu karang yang mengalami kerusakan. Seiring berjalannya waktu transplantasi karang juga dapat digunakan untuk budidaya karang sebagai kebutuhan keperluan hiasan aquarium laut. Faktor yang dominan memengaruhi tingkat kelangsungan hidup karang yang telah dilakukan proses transplantasi yaitu penutupan algae, sedimentasi, dan ukuran fragmen karang dengan cabang yang

berbeda. (Boström-Einarsson et al., 2020; Lirman & Schopmeyer, 2016).

Keberhasilan proses transplantasi karang tergantung pada kelimpahan Susan nilai pada karang itu sendiri. Apabila semakin padat jumlah zooxanthella maka semakin tinggi efisiensi pertumbuhan karang di suatu perairan. Faktor cahaya memiliki peranan penting dalam proses fotosintesis yang mana cahaya dapat mempengaruhi kelimpahan zooxanthella. Apabila intensitas cahaya yang rendah dapat mengakibatkan jumlah zooxanthella berkurang (Yap et al., 1998; Yap, 2004).

➤ Tujuan Transplantasi Karang

Tranplantasi karang adalah suatu kegiatan yang digunakan untuk menjadikan karang lebih banyak dengan metode-metode yang ada. Tujuan adanya tranplantasi karang adalah (Edwards & Clark, 1999; Edwards & Gomez, 2007):

Pemulihan Karang yang Rusak

Metode ini bertujuan untuk pemulihan karang dengan cara memindahkan potongan karang yang hidup dan masih baik ke terumbu karang yang sudah rusak dengan prosedurnya yaitu:

- a. Lokasi pengambilan bibit harus yang baik dan lokasi tidak boleh jauh dari lokasi penanaman.
- b. Lokasi pengambilan sampel karang yang baik harus sesuai dengan lokasi penanaman terumbu karang.

- c. Waktu yang digunakan untuk pengambilan bibit ke lokasi penanaman maksimal 1 jam.

Pemanfaatan Terumbu Karang Secara Bijak

Metode ini bertujuan untuk perdagangan karang hias dengan menempelkan potongan karang hias pada substrat yang ada pada lingkungan yang alami. Alasan menggunakan metode ini yaitu untuk menjadikan karangnya akan menjadi induk dari karang hias. Prosedur dari metode ini yaitu:

- a. Izin eksportir harus didapatkan untuk melakukan penjualan karang hias.
- b. Karang hias yang dijual dalam keadaan hidup yang biasanya diletakkan pada aquarium.

Perluasan Terumbu Karang

Metode ini dapat menggunakan metode transplantasi terumbu karang yang bertujuan mengubah habitat dari karang.

Tujuan Pariwisata

Terumbu karang ini bisa dijadikan sebagai objek wisata dimana pada perairan yang terdapat terumbu karang adalah perairan yang dapat dikategorikan perairan yang subur. Panorama yang disuguhkan bawah laut menjadi daya tarik sendiri untuk tempat wisata. Jenis karang harus diperhatikan dan harus beraneka ragam serta substrat buatan harus menggambarkan bentuk yang menarik sebagai tempat hidup karang dan dapat tahan oleh arus dan air laut. Pariwisata terumbu karang sendiri harus ada

peta lokasi untuk menggambarkan dan mengelompokkan karang tersebut.

Membangun Kesadaran Masyarakat

Kesadaran masyarakat harus di edukasi untuk melestarikan lingkungan perairan terutama pada kerusakan terumbu karang. Edukasi dapat berupa pelatihan untuk mengetahui dampak kerusakan terumbu karang dan cara pelestarian terumbu karang.

Pengelolaan Perikanan

Transplantasi terumbu karang ini dapat menjadikan terumbu karang sebagai tempat habitat biota laut. Banyaknya biota yang hidup pada terumbu karang dapat menjadi tujuan perikanan dengan sebutan "*Fish Aggregation Device* (FAD)". Tujuan pengelolaan perikanan tersebut adalah menjadikan terumbu karang sebagai rumah untuk biota dan ikan yang ada di laut.

Tujuan transplantasi terumbu karang yang lain adalah:

- a. Menjadikan masyarakat sadar tentang manfaat terumbu karang dengan diadakan sosialisasi dan edukasi.
- b. Menyelenggarakan kegiatan motivasi agar masyarakat antusias mendukung rehabilitasi dengan metode transplantasi
- c. Melakukan edukasi dan praktik menggunakan metode transplantasi karang.
- d. Membangun stakeholder dengan tujuan menjaga kelestarian terumbu karang.

- e. Adanya inovasi untuk merehabilitasi terumbu karang untuk menjaga dari kerusakan (Edwards & Clark, 1999; Edwards & Gomez, 2007).

➤ **Manfaat Transplantasi Terumbu Karang**

Terumbu karang merupakan salah satu keanekaragaman hayati yang berperan sebagai habitat atau tempat tinggal, tempat mencari makan dan sebagai tempat pembesaran bagi biota laut yang memiliki habitat di terumbu karang. Terumbu karang di perairan Indonesia diketahui dalam beberapa kajian mengalami degradasi yang sangat tinggi dan diduga adanya faktor penyebab yang menyebabkan terjadinya degradasi disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor alam dan faktor manusia. Degradasi pada terumbu karang mengharuskan adanya rehabilitasi terumbu karang yaitu dengan cara transplantasi karang (Rinkevich, 2019; Boström-Einarsson et al., 2020).

Transplantasi terumbu karang merupakan teknik memperbanyak koloni karang yang memanfaatkan reproduksi aseksual pada karang secara fragmentasi. Transplantasi karang adalah kegiatan jangka panjang dengan solusi meningkatkan keberhasilan transplantasi karang dalam proses rehabilitasi terumbu karang. Faktor biologi, fisika dan kimia perairan merupakan hal yang sangat penting dalam tahap transplantasi terumbu karang. Predator dan penyakit terumbu karang harus diperhatikan sebelum melakukan kegiatan transplantasi karang (Yap et al., 1998; Shaver & Silliman, 2017).

Terumbu karang di Indonesia memiliki status terancam dikarenakan adanya aktifitas manusia yang berupa polusi dan adanya perubahan pada habitat terumbu karang. Terumbu karang di Indonesia memiliki status terancam dikarenakan adanya penangkapan ikan dengan cara yang tidak ramah lingkungan, adanya pencemaran dan kerusakan dari laut, pencemaran yang berasal dari aliran sungai dan pembangunan di pesisir pantai. Upaya pencegahan ancaman pada terumbu karang selain transplantasi adalah dengan manajemen yaitu dengan membentuk kawasan konservasi di perairan dengan upaya rehabilitasi. Manfaat dari transplantasi terumbu karang yaitu untuk memperbaiki kualitas pada terumbu karang dengan meningkatkan tutupan karang hidup, keunikan topografi karang dan keanekaragaman hayati (Edwards & Clark, 1999; Lirman & Schopmeyer, 2016).

Penyakit karang terjadi karena adanya beberapa faktor dengan faktor utama yaitu pemanasan global. Transplantasi terumbu karang dapat mengalami penurunan tutupan karang dikarenakan adanya penyakit pada karang. Penyakit karang yang ditemui dalam transplantasi karang salah satunya adalah Black Band Diseases. Penyakit karang merupakan faktor biologi yang sangat penting pada proses transplantasi terumbu karang. Parameter fisika dan kimia yang tidak cocok dalam proses transplantasi karang maka pertumbuhan terumbu karang akan rendah dan tingkat keberhasilannya akan rendah (Edwards & Gomez, 2007; Rinkevich, 2019).

Makroalga adalah salah satu kompetitor terumbu karang dalam proses transplantasi karang. Daerah yang telah dikuasai atau ditinggali makroalga akan sulit untuk direhabilitasi. Alga dapat menjadi faktor utama kematian fragmen pada karang, nutrien yang tinggi diperairan dapat menyebabkan tumbuhnya makroalga. Faktor lain yang menyebabkan rusaknya terumbu karang secara fisik yaitu adanya penambatan kapal dengan sistem jangkar, adanya kegiatan penyelaman dan adanya endapan pecahan karang di dalam sedimen. Faktor faktor diatas merupakan tekanan secara kumulatif yang dapat merusak terumbu karang (Hughes et al., 2003; Hoegh-Guldberg et al., 2007).

Faktor pembatas yang dapat mempengaruhi pertumbuhan terumbu karang salah satunya adalah sebagai berikut. Cahaya matahari, dimana intensitas serta kualitas cahaya yang dapat masuk ke perairan berguna untuk menentukan sebaran vertikal karang batu. Upwelling merupakan salah satu faktor pembatas dikarenakan apabila suhu massa air dibawah ambang batas maka metabolisme terumbu karang akan terganggu. Pengendapan yang terdapat apda bagian atas karang dapat menjadi pengaruh buruk untuk terumbu karang karena endapan yang berat akan menutupi dan menyumbat alur pemberian makanan dan cahaya yang masuk untuk fotosintesis akan berkurang (Hughes et al., 2003; Hoegh-Guldberg et al., 2007).

Faktor yang diakibatkan dari aktifitas daratan juga dapat merusak ekosistem terumbu karang. Penangkapan ikan yang berlebihan dan menggunakan bahan yang berbahaya akan merusak terumbu karang dengan skala yang cukup luas. Pemanasan global dapat menyebabkan meningkatnya suhu perairan di atas ambang batas terumbu karang sehingga dapat menyebabkan kasus *coral bleaching* atau pemutihan karang. Strategi pengelolaan terumbu karang yang baik yaitu dengan melindungi, melestarikan, memperbaiki, meningkatkan kualitas dan mengembangkan terumbu karang untuk kepentingan seluruh masyarakat dan keberlangsungan ekosistem yang ada (Hughes et al., 2003; Boström-Einarsson et al., 2020).

Program pengelolaan yang sesuai dengan standar nasional perlu dilakukan untuk menjaga antara upaya pelestarian lingkungan dan upaya eksploitasi terumbu karang. Cara atau upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalisir adanya degradasi pada terumbu karang yaitu dengan melakukan penyuluhan konservasi terumbu karang. Mengidentifikasi dan melakukan upaya pencegahan yang dapat menyebabkan kerusakan pada terumbu karang. Mengidentifikasi dan mengeksplor potensi terumbu karang dan pemanfaatannya secara luas. Keseimbangan antara pemanfaatan ekonomi dengan pelestarian lingkungan harus dijaga apabila berdasarkan karakteristik ekosistem, potensi, pemanfaatan dan status hukumnya (Hughes et al., 2003; Boström-Einarsson et al., 2020).

➤ Metode Transplantasi Terumbu Karang

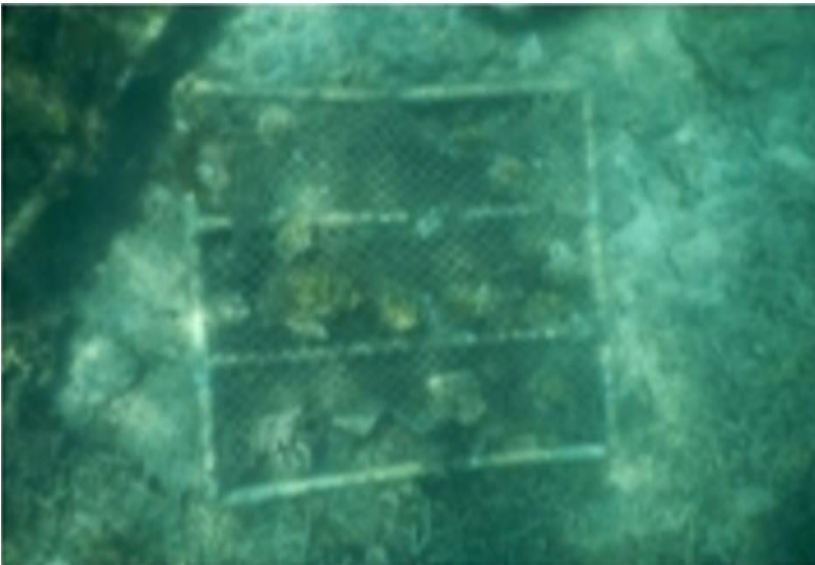
Transplantasi terumbu karang terdiri dari beberapa metode yaitu dengan metode terumbu karang buatan, yang dimana metode ini adalah metode dengan cara menenggelamkan struktur bangunan di dasar laut agar berfungsi sebagai terumbu karang alami dan menjadi tempat tinggal ikan. Struktur bangunan dibuat dengan beragam bentuk dan beragam bahan dengan begitu struktur bangunan tersebut memiliki fungsi sebagai tempat mencari makan, memijah dan berkembang biak bagi biota laut (Edwards & Gomez, 2007; Rinkevich, 2019). (Rinkevich, 2019; Young et al., 2012).

Metode yang selanjutnya adalah metode pencangkakan yang dimana metode inilah yang dikenal sebagai metode transplantasi. Proses pencangkakan atau transplantasi terumbu karang yaitu memotong karang hidup kemudian ditanam pada tempat lain yang mengalami kerusakan agar dapat mempercepat regenerasi terumbu karang yang telah rusak dan dapat membentuk terumbu karang yang baru. Jenis bibit terumbu karang yang banyak digunakan untuk uji transplantasi adalah dari genus *Acropora*, berdasarkan genusnya karang tersebut memiliki cabang yang kecil dan mudah rapuh (Edwards & Gomez, 2007; Rinkevich, 2019).

Metode berikutnya yaitu *Mineral Accretion* yaitu dengan mengkaitkan terumbu karang pada bronjong-bronjong kawat baja yang kemudian dialiri dengan listrik voltage rendah. Aliran listrik yang mengalir melewati kawat baja tersebut digunakan agar dapat merangsang

percepatan pertumbuhan karang. Hasil dari transplantasi karang menggunakan metode *Mineral Accretion* ini diketahui lebih cepat 3 hingga 5 kali lipat dibandingkan dengan transplantasi biasa (Edwards & Gomez, 2007; Rinkevich, 2019).

Boström-Einarsson et al. (2020) metode transplantasi terumbu karang di Indonesia sangat beragam, beberapa metode yang telah digunakan di Indonesia adalah metode rak jaring dan substrat, beton, jaring dan pecahan, substrat alami dan dimodifikasi menggunakan *biorock* karang. Metode diatas memiliki kelebihan dan kekurangan masing masing dan tidak keseluruhan bagus untuk rehabilitasi. Berikut adalah gambar dari contoh metode transplantasi karang:



Gambar 1. Metode Transplantasi Rak, Jaring dan Substrat



Gambar 2. Metode Transplantasi Jaring dan Pecahan



Gambar 3. Metode Transplantasi Beton

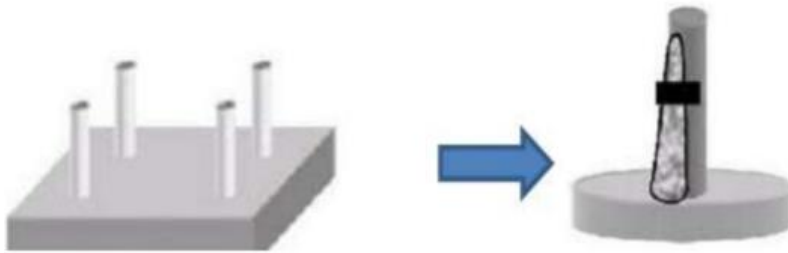
Metode transplantasi senantiasa berkembang sesuai dengan kemajuan dan perkembangan teknologi. Metode yang banyak digunakan adalah metode yang mudah dan praktis namun tidak semua metode yang mudah dan praktis menghasilkan hasil yang bagus.

Transplantasi menggunakan rak, jaring dan substrat merupakan metode pertama yang memiliki hasil memuaskan. Daerah pesisir yang memiliki ekosistem terumbu karang hampir keseluruhan menggunakan transplantasi karang sebagai upaya perbaikan pada ekosistem terumbu karang (Boström-Einarsson et al., 2020; Rinkevich, 2019).

Teknik dan media transplantasi karang ada yang memiliki desain dengan sistem rak dengan metode substrat yaitu semen (cor) dan menggunakan pipa paralon yang kemudian diisi semen dan dicat agar tidak terjadi pencemaran, bentuk rangka yang digunakan berbentuk siku dengan ukuran 100 cm x 150 cm (Edwards & Gomez, 2007; Omori & Fujiwara, 2004).



Gambar 4. Rak dari Besi Siku



Gambar 5. Pengikatan Bibit Terumbu Karang Pada Media Semen Cor



Gambar 5. Tahapan Transplantasi Terumbu Karang dengan Menggunakan Substrat Karang

Satu rak pertumbuhan dibuat untuk 20 unit karang. Substrat semen dan paralon menggunakan cetakan yang digunakan sebagai media penanaman terumbu karang. Campuran beton yang digunakan yaitu 1:2:3, setelah pengecoran cetakan dilakukan perawatan pada cor dengan menyiram setiap hari. Pelepasan beton dari cetakan dilakukan setelah 7 hari. Substrat diikatkan pada jaring dengan jarak 25 cm yang dimana substrat ini digunakan sebagai tempat tumbuhnya karang. Penyusunan rak dan jaring dilakukan dengan memilih media yang datar dan kedalamannya mendekati kedalaman bibit

transplantasi (Edwards & Gomez, 2007; Omori & Fujiwara, 2004).

Pemilihan transplantasi koloni induk berasal dari jenis karang bercabang khususnya famili Acroporidae. Bibit yang disiapkan untuk transplantasi dilakukan dengan cara memotong beberapa bagian karang menggunakan tang yang nanti akan digunakan sebagai indukan baru. Ukuran koloni yang menjadi bibit indukan tidak memperhitungkan ukuran besar maupun kecil. Tahapan tersebut adalah aplikasi pengetahuan dan cara seleksi untuk mendapatkan induk yang baik (Edwards & Gomez, 2007; Omori & Fujiwara, 2004). Peningkatan teknik dan keterampilan media transplantasi karang bisa menggunakan sistem rak dengan metode substrat semen. Peningkatan pengetahuan dan teknologi transplantasi saat memilih bibit karang untuk mendapat bibit karang yang baik. Peningkatan pengetahuan dengan teknologi penanaman anakan karang. Aspek tersebut dilakukan untuk memonitoring dan sebagai evaluasi dalam kegiatan transplantasi terumbu karang (Edwards & Gomez, 2007; Omori & Fujiwara, 2004).

Transplantasi karang adalah suatu jenis teknik memperbanyak koloni karang dengan memanfaatkan reproduksi aseksual karang secara fragmentasi. Transplantasi dapat diproduksi dengan melalui proses perbanyakkan aseksual, dimana metode ini memanfaatkan reproduksi aseksual dengan cara memecah karang donor untuk dijadikan koloni yang baru (Edwards & Clark, 1999; Lirman & Schopmeyer, 2016). Terumbu karang

merupakan struktur batu kapur yang dibantu oleh karang dan ganggang berkapur yang dapat ditemukan di perairan tropis dangkal (Veron, 2000; Edwards & Gomez, 2007). Metode aseksual dalam dasar transplantasi karang meliputi pemilihan karang donor dengan mempunyai kriteria prosedur prooning, attachment ke media dan cara perawatan pasca transplantasi (Edwards & Gomez, 2007; Rinkevich, 2019).

Transplantasi karang merupakan metode perbanyakan koloni karang dengan memanfaatkan reproduksi seksual karang yaitu dengan cara perekrutan karang. Perekrutan karang akan berjalan dengan baik apabila ditentukan oleh beberapa faktor sebagai berikut: ketersediaan lava karang, substrat karang untuk menempelkan larva dan kondisi air yang mendukung penempelan larva karang yang dimana larva karang ini juga biasa disebut sebagai *juvenile*. Kepadatan *juvenile* digunakan menjadi patokan atau standar untuk mengukur tinggi badan karang. Populasi dari rekrutmen yaitu dengan menambahkan individu atau koloni baru ke dalam populasi hasil reproduksi secara seksual dan aseksual. Rekrutmen karang sangat penting dalam pengelolaan terumbu karang dan menentukan potensi pemulihan alami dari terumbu karang. Kepadatan dari rekrutmen terumbu karang yaitu berdasarkan dari jumlah karang muda yang ukuran koloninya $\leq 5\text{cm}$. Sedimentasi dapat menurunkan laju pertumbuhan karang dikarenakan menghambat embrio pada karang sehingga polip dapat tertutup dan akan menyebabkan kematian

karena kehabisan energi untuk membersihkan sedimen yang berada dipermukaan karang (Guest et al., 2014; Boström-Einarsson et al., 2020).

Metode transplantasi memiliki dua jenis metode berdasarkan tempat transplantasinya yaitu in situ dan ex situ. Metode in situ memiliki keuntungan yaitu biaya yang lebih murah dan mudah karena tidak memerlukan pergantian air. Pergantian air tidak perlu dilakukan karena akan ada sirkulasi secara alami. Metode transplantasi in situ dilakukan pembiakan yang berlokasi di lautan. Lokasi transplantasi yang berada di laut, maka perlu diperhatikan bahwa daerah lokasi bukan jalur keluar masuknya kapal nelayan dan industri. Lokasi merupakan habitat karang dan relative terlindungi dari gelombang. Dasar perairan yang digunakan sebagai lokasi transplantasi merupakan lokasi yang datar dengan substrat pasir dan komunitas karang. Lokasi tidak mengalami kekeringan pada saat surut air terendah. Hal tersebut merupakan tahapan penting yang harus diperhatikan saat akan melakukan transplantasi secara in situ. Tahapan setelah menentukan lokasi yaitu mempersiapkan fragmen karang. Pengambilan fragmen diperkirakan kurang dari 10% dari total luasan induk. Tahapan berikutnya yaitu pemasangan fragmen dan penanaman rak transplantasi. Fragmen dari indukan karang diikat dengan substrat semen, kemudian substrat semen diletakkan dan diikat dengan rak transplantasi. Sampel transplantasi diletakkan pada jaring menggunakan kabel tie. Setelah fragmen dipasang pada

rak, maka proses selanjutnya yaitu penanaman rak transplantasi di laut (Yap et al., 1998; Edwards & Gomez, 2007).

Metode transplantasi karang lunak secara *ex situ* adalah suatu metode yang digunakan untuk membiakkan karang lunak diluar habitat aslinya (laut). Metode ini biasanya dilakukan oleh penyuplai karang untuk memenuhi kebutuhan karang hias nasional maupun manca negara. Metode ini dilakukan di suatu ekosistem buatan, misalnya aquarium dengan berbagai substrat. Metode ini membutuhkan biaya yang cukup besar karena hanya para ahli yang dapat melakukan metode ini. Ada beberapa tahap yang dilakukan saat melakukan metode ini. Tahap pertama yang dilakukan adalah mengambil sampel karang lunak lalu dilakukan proses aklimatisasi. Tahap kedua melakukan proses aklimatisasi lagi setelah karang lunak sudah dipotong dan ditempatkan atau ditempel pada substrat/media. Tahap ketiga yaitu memasukkan sampel karang lunak ke dalam aquarium yang sudah berisi air dan direndam tanpa membuka plastiknya agar karang lunak dapat menyamakan suhu pada air didalam aquarium. Tahap keempat yaitu membuka satu persatu plastik yang berisi karang lunak yang sudah direndam lalu karang lunak dikeluarkan dan diletakkan satu persatu ke dasar aquarium. Tahap terakhir yaitu dilakukan proses aklimatisasi selama dua minggu karena karang lunak akan dipotong, oleh karena itu harus dipastikan karang lunak benar-benar sehat kembali (Boström-Einarsson et al., 2020; Rinkevich, 2019).

➤ Pemeliharaan Karang Transplantasi

Pemeliharaan menjadi faktor yang sangat penting agar mendapatkan hasil yang maksimal yaitu dengan selalu membersihkan transplan karang dan lingkungan sekitarnya. Transplan karang harus dibersihkan dengan dengan pelan-pelan dengan cara menyikat algae atau lumut yang melekat pada substrat karang. Rak pembibitan dan pemeliharaan juga harus dibersihkan dari berbagai macam biota penempel. Cara membersihkan rak dapat dilakukan dengan cara menyikat oleh karena pembuatan rak dengan struktur yang tidak rumit dan dengan ukuran yang tidak terlalu besar akan memudahkan untuk dibersihkan. Pada minggu pertama dan kedua sebaiknya pengawasan dan pembersihan dilakukan setiap hari. Jika terdapat bibit yang memutih atau luka segera dipisahkan dan diganti yang baru. Pada bibit yang telah berumur lebih dari satu bulan pembersihan dapat dilakukan 2-3 hari sekali. Pemeliharaan yang kurang baik akan menyebabkan terhambatnya pertumbuhan karang karena kalah bersaing dengan algae dan biota lainnya. Pemanenan hasil tarnsplantasi karang tergantung dari ukuran yang diinginkan atau tergantung dari permintaan pasar. para eksportir biasa menginginkan karang dengan diameter ukuran 7,5-15cm dan ukuran ini biasanya ditemukan pada karang berumur 6-12 bulan. Para importir maupun hobiis biasanya menyenangi karang yang mempunyai bentuk pertumbuhan digitata, kapitosa, korimbosa atau gabungan keduanya. Bentuk-bentuk bercabangan

abroresen kurang disukai karena kurang menarik kecualiantuk akuarium yang berukuran besar (Omori & Fujiwara, 2004; Edwards & Gomez, 2007). (Boström-Einarsson et al., 2020).



Gambar 6. Persiapan Pengecekan Transplantasi *Soft Coral*



Gambar 7. Pembersihan Sedimen Dari *Soft Coral*

Untuk mendapatkan hasil pertumbuhan karang yang bagus ukuran transplan yang digunakan tidak boleh lebih dari 5 cm agar bentuk asli dari pertumbuhan tidak terlihat. Seringkali penanaman tranplantasi karang dilakukan dengan menggunakan potongan transplan yang besar dengan harapan cepat dapat segera dipanen begitu karang sembuh dari lukanya. Pemikiran yang demikian adalah keliru oleh karena karang hasil tranplantasi yang berukuran besar akan mempunyai bentuk pertumbuhan yang kurang maksimal dan bekas potongan masih akan terlihat (Omori & Fujiwara, 2004; Edwards & Gomez, 2007).

Pemeliharaan Terumbu Karang yang telah dilakukan sejak tahun 1998 belum menunjukkan hasil yang memuaskan. Ancaman kerusakan Terumbu Karang di berbagai wilayah Indonesia terus bertambah. Pengelolaan sumber daya pesisir adalah kunci untuk menjaga dan melestarikan sumber daya pesisir. Pemantauan Terumbu Karang dilakukan dengan tujuan untuk terus melestarikan keanekaragaman hayati bawah laut (Hughes et al., 2003; Obura et al., 2019).

Penyebab Terumbu Karang Rusak yaitu dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung, sebagian besar akibat dari kegiatan manusia, antara lain:

- a. Penjarahan terumbu karang sebagai hiasan karena kecantikannya
- b. Pencemaran air laut akibat sampah dan limbah yang terkumpul di laut sehingga merusak kondisi lingkungan perairan

- c. Pertanian tepi pantai yang menggunakan bahan kimia dan pestisida akan memberikan dampak bagi kerusakan ekosistem laut
- d. Penangkapan ikan menggunakan bom akan merusak karang serta mengganggu regenerasi biota laut lainnya
- e. Penambangan pasir pantai serta pemukiman akan mempengaruhi ekosistem laut secara keseluruhan
- f. Jangkar kapal yang diturunkan akan memicu kerusakan terumbu karang
- g. Perubahan iklim dunia yang menyebabkan kenaikan suhu rata-rata bumi akan memberikan dampak negatif, karena karang sensitif terhadap perubahan suhu lingkungan

Hal tersebut tujuan dari upaya pemeliharaan hasil transplantasi karang ini diharapkan dapat menekan angka kematian anakan karang dan meningkatkan persentase keberhasilan transplantasi karang agar tujuan pemulihan ekosistem terumbu karang pada zona tersebut dapat tercapai. Pemeliharaan memiliki tujuan antara lain memaksimalkan sumber daya secara berkelanjutan agar terjaga ekosistem terumbu karang dari penyakit dan ancaman aktivitas manusia. Hal itu dapat dihindari dengan memberikan sanksi dan menciptakan kawasan konservasi laut (KKL); perikanan secara berkelanjutan dan ramah lingkungan; pariwisata yang sesuai dengan daya dukung. Informasi tentang pengelolaan wilayah pesisir secara Terpadu (ICM) tentang terumbu karang sangat penting dikelola agar dapat memanfaatkan lahan disekitar daerah aliran sungai secara optimal dan tidak

memberikan ancaman kerusakan pada ekosistem terumbu karang di wilayah pesisir (Edwards & Gomez, 2007; Boström-Einarsson et al., 2020).

Kegiatan transplantasi karang tidak hanya pada proses pemindahan bibit dan pengikatan pada substrat saja, tetapi juga perawatannya. Perawatan ini digunakan pada pembersihan substrat buatan karang dari gangguan seperti makro algae atau biota pengganggu lain. Pemeliharaan anakan karang dilakukan untuk mengurangi angka kematian dan menjaga laju pertumbuhan optimal. Bentuk kegiatan pemeliharaan adalah sebagai berikut (Edwards & Gomez, 2007; Omori & Fujiwara, 2004).

Pembersihan terhadap sedimen yang mengendap dan organisme biofouling khususnya alga yang menempel pada bibit (*fragmen*) dan media transplantasi (rak/meja). Pembersihan karang transplantasi dilakukan dengan cara mencabuti alga secara manual (menggunakan tangan) atau dengan menggunakan sikat. Karang yang mati dibuang ataupun dipisahkan dari karang yang masih hidup agar meminimalisir proses penularan pemutihan (*bleaching*) dan rak transplantasi yang rusak segera diperbaiki. Selanjutnya, dengan Menata tegakan anakan yang terlepas dari rak-rak transplantasi atau yang posisinya tidak tegak (miring). Karang yang terjatuh dikembalikan ke posisi awal (Boström-Einarsson et al., 2020; Shaver & Silliman, 2017).

Waktu kegiatan perawatan dilakukan sejalan dengan pengamatan, dan disesuaikan dengan kondisi perairan. Jika memungkinkan dilakukan secara teratur yaitu setiap satu kali dalam satu minggu selama tiga bulan. Pada perairan dengan laju pertumbuhan biofouling yang cepat, pembersihan lebih sering dilakukan. Pemeliharaan dilakukan dengan membersihkan media rangka dari sedimen maupun alga yang dapat menghambat pertumbuhan karang, mengganti anakan karang yang mati atau anakan karang yang pertumbuhannya kurang optimal, penataan kembali rangka substrat, pematokan rangka terlemah/terluar (Moberg & Folke, 1999).

➤ Sumber Karang

Transplantasi karang yang akan ditanam di daerah baru merupakan proses perbanyakan koloni karang dengan cara memanfaatkan reproduksi aseksual karang yaitu fragmentasi. Sumber karang atau indukan karang yang akan ditanam pada daerah baru dapat diperoleh dari pengambilan koloni karang pada habitat alam dan anakan dari hasil transplantasi sebelumnya. Koloni karang dari habitat alam yang akan ditransplantasi merupakan fragmen karang yang terlepas karena proses alami. Sumber karang yang diperoleh dari karang yang masih hidup di terumbu memiliki efek samping yang menimbulkan kerusakan koloni karang, maka diperlukan tahapan identifikasi sumber karang (Edwards & Gomez, 2007; Young et al., 2012; Rinkevich, 2019).

Transplantasi karang mampu menambah persentase tutupan karang hidup yang digunakan ikan karang sebagai tempat hidup dan tempat berkembang biak. Penanaman karang baru memerlukan sumber karang dan pemilihan spesies karang yang akan ditransplantasi. Identifikasi sumber karang merupakan langkah penting yang harus dilakukan sebagai penentu keberhasilan metode transplantasi. Kelimpahan zooxanthella juga sangat mempengaruhi keberhasilan proses transplantasi karang. Identifikasi sumber karang perlu memperhatikan intensitas cahaya di daerah yang akan dipulihkan, maka kelimpahan zooxanthella akan berkembang pesat di daerah tersebut. Zooxanthella akan meningkatkan efisiensi pertumbuhan karang (Yap et al., 1998; Yap, 2004).

Lokasi pengambilan sumber karang perlu diperhatikan dengan memilih lokasi yang mirip dengan lokasi transplantasi. Kedalaman dasar perairan, intensitas cahaya, salinitas, substrat, sedimentasi, dan suhu merupakan faktor penting yang diperhatikan saat memilih sumber karang. Fragmen karang yang patah dengan sendirinya, dapat dijadikan sumber karang di tempat transplantasi. Patahan karang pada koloni terumbu karang juga dapat diambil sebagai sumber bibit karang (Edwards & Clark, 1999; Lirman & Schopmeyer, 2016).

Identifikasi sumber karang diusahakan dengan pemilihan bibit karang dengan keadaan sehat. Sumber karang yang baik ialah terbebas dari organisme yang menempel (seperti sponges). Karang yang terbebas dari organisme ini akan mencegah biota lain tidak ikut

terambil dan tidak mengganggu pertumbuhan karang di lokasi baru saat transplantasi. Transplantasi karang dapat tumbuh dengan baik tanpa gangguan dari biota lainnya (Edwards & Gomez, 2007; Yap, 2004).

Sumber bibit karang yang diperoleh dari karang hidup, diusahakan tidak lebih dari 10% dari seluruh bagian koloni. Pengambilan sumber karang seperti ini guna untuk mengurangi resiko tingkat stres pada karang. Sumber karang dari indukan karang dipotong menjadi beberapa bagian atau fragmen karang. Fragmen karang merupakan sumber bibit karang yang digunakan untuk transplantasi. Fragmen karang yang dipotong dengan ukuran lebih besar dengan fragmen lainnya, maka akan memiliki ketahanan hidup yang lebih tinggi daripada fragmen lainnya (Yap et al., 1998; Yap, 2004).

Pemotongan fragmen karang dari indukan dianjurkan sebesar 5 cm hingga 15 cm. Ukuran fragmen diatas 10 cm memiliki tingkat keberhasilan yang lebih baik. Fragmen yang dibutuhkan untuk sumber karang akan lebih baik apabila diameter fragmen sebesar 10mm. Ukuran fragmen sumber karang dianjurkan harus melebihi besar dari ukuran mulut ikan pemakan alga. Pemotongan fragmen sebagai sumber karang harus menghindari adanya kontak langsung dengan tangan, penggunaan sarung tangan sangat dianjurkan (Edwards & Gomez, 2007; Omori & Fujiwara, 2004).



Gambar 8. Pemotongan Indukan Karang Menjadi Fragmen-Fragmen

Sumber karang yang diperoleh untuk bibit transplantasi karang sebaiknya dilakukan pemotongan tidak pada waktu tengah hari. Transplantasi juga tidak diperkenankan pada waktu tengah hari. Sumber karang yang diperoleh tidak dilakukan tindakan pemotongan pada saat waktu dekat dengan musim pemijahan. Sumber karang yang akan dibawa pada lokasi baru yang ditempatkan pada wadah lebih dari satu jam, maka diharuskan untuk mengganti air setiap satu jam sekali. Penempatan sumber bibit karang yang akan ditransplantasi diperlukan suhu yang sesuai dengan suhu air laut (Edwards & Gomez, 2007; Omori & Fujiwara, 2004).

Sumber karang yang diperoleh untuk bibit transplantasi harus dipastikan bahwa karang berada dibawah perizinan pemerintah atau tidak. Lokasi indukan yang baik sebaiknya pada lokasi management authorithy, hal tersebut akan menyesuaikan jumlah bagian koloni yang dijadikan sumber karang sesuai dengan kuota lokasi. Identifikasi lokasi sumber karang pada tahap ini sangat diperhatikan, agar diperoleh kondisi lokasi yang mirip dengan tempat transplantasi. Lokasi yang mirip akan memudahkan bagi fragmen untuk beradaptasi dan berkembang di lokasi baru (Cabaitan et al., 2008).

Sumber bibit karang untuk karang masif, dianjurkan pengambilan fragmen pada bagian tepi. Pemotongan sumber karang sebaiknya dilaukan oleh ahlinya untuk mengurangi kerusakan berlebih pada karang. Pemotongan fragmen dapat berakibat sangat buruk bagi pendonor apabila tidak sesuai dengan aturan pemotongan fragmen (Cabaitan et al., 2008).

Jenis karang yang dianjurkan sebagai sumber karang ialah karang yang masih bertahan hidup pada lokasi serupa (lokasi transplantasi). Identifikasi lokasi harus ditekankan semirip mungkin agar transplantasi berhasil dan tidak membuat kerusakan berlebih pada karang. Sumber karang harus ditransplantasi di lokasi yang terhindar dari gangguan manusia, gangguan aktivitas pelabuhan, gangguan pabrik, dan intensitas cahaya yang maksimal. Substrat bagi sumber bibit karang yang menjadi media yang akan ditransplantasi sebaiknya

terbuat dari semen atau bahan lain yang ramah lingkungan (Dizon et al., 2008).

Penanaman sumber karang memerlukan pertimbangan dalam pemilihan lokasi transplantasi. Lokasi transplantasi diusahakan bukan merupakan kawasan konservasi. Lokasi transplantasi diusahakan jauh dari aktivitas jalur pelayaran kapal. Lokasi transplantasi jauh dari kawasan industri. Lokasi transplantasi terlindung dari gelombang. Gelombang yang besar dapat merusak penanaman sumber karang. Dasar perairan yang relatif berpasir dan memiliki komunitas karang merupakan lokasi transplantasi yang baik. Lokasi transplantasi harus terhindar dari kekeringan saat mengalami surut terendah (Dizon et al., 2008).

➤ **Pemeliharaan dan Pemantauan**

Transplantasi karang tidak hanya dengan metode pemindahan sumber bibit karang dan pengikatan pada lokasi transplantasi, tetapi juga pemeliharaannya. Kemajuan teknologi membuat pengembangan metode-metode transplantasi karang semakin beragam. Metode yang paling sering digunakan adalah metode yang paling mudah. Pemantauan bertujuan untuk memantau perkembangan tujuan metode transplantasi. Pemeliharaan karang yang telah ditransplantasi sangat diperlukan untuk mencapai keberhasilan transplantasi dan menjaga kelestarian karang. Monitoring perlu terus dilakukan agar pelaksanaan transplantasi mampu memperbaiki kerusakan karang dan dapat dilakukan

secara keberlanjutan (Edwards & Gomez, 2007; Boström-Einarsson et al., 2020).

Perawatan transplantasi karang ditujukan untuk kegiatan pembersihan pada substrat buatan karang dari gangguan makhluk lain yang memiliki pertumbuhan cepat. Makhluk hidup yang perlu dibersihkan antara lain makroalga atau biota pengganggu lain seperti sponge. Pemeliharaan anakan karang dilakukan untuk menjaga kondisi anakan pada rak transplantasi agar terhindar dari kematian dan menjaga laju pertumbuhan karang (Edwards & Gomez, 2007; Boström-Einarsson et al., 2020).

Bentuk kegiatan pemeliharaan dapat berupa pembersihan terhadap sedimen yang mengendap dan organisme biofouling. Alga yang menempel pada fragmen dan media transplantasi sangat mempengaruhi laju pertumbuhan karang, maka alga harus dicabuti atau dibersihkan dengan sikat dari sekitar media transplantasi. Fragmen karang yang tidak berhasil tumbuh atau mati harus segera dipisahkan dari karang yang masih bertahan hidup. Pemisahan karang yang telah mati bertujuan untuk meminimalisir proses penularan pemutihan karang (*coral bleaching*). Rak transplantasi yang mengalami kerusakan harus segera diganti atau diperbaiki agar fragmen bisa tumbuh tanpa adanya gangguan (Edwards & Gomez, 2007; Boström-Einarsson et al., 2020).



Gambar 9. Pemeliharaan Karang

Anakan yang terlepas dari rak-rak transplantasi atau posisinya miring, harus ditata tegakannya. Karang yang terjatuh pada pasir perlu dikondisikan ke posisi semula pada rak transplantasi. Waktu kegiatan perawatan dilakukan bersamaan dengan pengamatan yang disesuaikan dengan kondisi perairan. Lokasi yang memiliki laju pertumbuhan biofouling sangat cepat diharapkan frekuensi pembersihan dilakukan lebih sering. Waktu yang dianjurkan untuk pemeliharaan ialah satu kali dalam seminggu dalam waktu tiga bulan (Edwards & Gomez, 2007; Boström-Einarsson et al., 2020).

Kegiatan pemantauan transplantasi karang juga bertujuan untuk mengetahui tingkat kelangsungan hidup atau *survival rate* (SR) kondisi karang yang ditransplantasi dan mengetahui laju pertumbuhan karang. Pemantauan karang dilakukan sejalan dengan pemeliharaan karang. Pemantauan dapat dilakukan dengan cara mengukur tinggi

dan diameter fragmen karang. Pencatatan saat pemantauan merupakan kegiatan penting yang harus dilakukan. Beberapa hal yang perlu dicatat antara lain adalah jumlah dan jenis penanaman anakan karang, tingkat kematian anakan karang, pertumbuhan karang dengan melakukan pengukuran karang yang dilakukan dari samping ke atas (Edwards & Gomez, 2007; Boström-Einarsson et al., 2020).

Pemantauan laju pertumbuhan karang dilakukan dimulai sejak satu minggu pertama dengan periode tiap dua bulan sekali. Pengamatan dilakukan mencakup ukuran panjang vertikal, ukuran panjang horizontal, lebar diameter koloni dan jumlah tunas. Pemantauan pengukuran karang dilakukan menggunakan alat pengukur seperti kapiler dengan ketelitian 0,1cm. Pencatatan juga mengenai jenis ikan atau biota lain yang ditemukan di sekitar karang transplan. Kegiatan pemantauan didukung dengan menggunakan alat selam dasar (*scuba*) serta kamera bawah air dan alat tulis bawah air (Edwards & Gomez, 2007; Obura et al., 2019).

Pengukuran kualitas air dapat dijadikan sebagai data pendukung. Pengambilan data kualitas air dapat dilakukan di awal dan akhir bulan selama tiga bulan secara *in situ* yaitu diukur langsung pada lokasi di kedalaman transplantasi karang. Parameter yang diaplikasikan untuk mengetahui kualitas air antara lain yaitu kecerahan, suhu, pH, oksigen terlarut, kecepatan arus, dan salinitas (Edwards & Gomez, 2007; Obura et al., 2019).

Perolehan data saat pemantauan perlu dianalisis untuk menghitung pertumbuhan karang, laju pertumbuhan dan tingkat keberhasilan hidup karang hasil transplantasi. Mengacu pada Frias-Torres et al. (2023), pertumbuhan diameter atau tinggi mutlak karang dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\beta L = Lt - Lo$$

βL = pertumbuhan diameter atau mutlak tinggi (mm)

Lt = rata-rata diameter atau tinggi pada bulan ke-t

Lo = rata-rata diameter atau tinggi pada awal pengukuran

Mengacu pada metode pemantauan pertumbuhan karang dalam Frias-Torres et al. (2023), rumus laju pertumbuhan diameter atau tinggi karang diperoleh sebagai berikut:

$$\frac{P = Lt - Lo}{t}$$

P = capaian pertumbuhan karang (mm/minggu)

Lt = rata-rata tinggi atau diameter pada pengukuran bulan ke-t (mm)

Lo = rata-rata tinggi atau diameter pada awal pengukuran (mm)

t = waktu pengamatan (minggu)

Mengacu pada Frias-Torres et al. (2023), tingkat kelangsungan hidup karang atau survival rate (SR) dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$SR = \frac{Nt \times 100}{No}$$

SR = tingkat kelangsungan hidup karang yang transplantasi (%)

Nt = jumlah karang yang hidup pada waktu *t* (koloni)

No = jumlah karang yang hidup pada awal transplantasi (koloni)

BAB IV

REHABILITASI EKOSISTEM TERUMBU KARANG DENGAN TERUMBU KARANG BUATAN

➤ Pengertian Terumbu Karang Buatan

Kerusakan terumbu karang yang cukup besar dapat diminimalisir dengan adanya metode terumbu karang buatan (Baine, 2001; Lima et al., 2019). Terumbu karang buatan adalah bentuk upaya yang dilakukan guna untuk menanggulangi serta rehabilitas kerusakan yang terjadi pada ekosistem alami dari terumbu karang. Terumbu karang buatan merupakan terumbu yang dibuat oleh manusia dengan merekayasa struktur bangunan yang diturunkan ke dalam laut sehingga menyerupai habitat ikan pada aslinya yang memiliki tujuan untuk mengubah perairan sepi ikan menjadi perairan yang rama ikan. Keberadaan dari terumbu karang buatan diaplikasikan guna dapat memberi fungsi serta manfaat ekologis yang salah satunya adalah memberikan suatu habitat baru bagi organisme laut (Bohnsack & Sutherland, 1985; Baine, 2001).

Ekosistem terumbu karang yang mengalami kerusakan dan mengalami penurunan jumlah dari ekosistem itu sendiri. Ekosistem dari terumbu karang akan mengalami masa pemulihan yang cukup lama. Oleh karena itu perlu adanya beberapa cara yang diperlukan untuk upaya rehabilitasi terumbu karang yang ada antara lain adalah dengan adanya terumbu karang buatan (Edwards & Gomez, 2007; Boström-Einarsson et al., 2020).

Terumbu karang buatan dapat memberikan manfaat yaitu meningkatkan kelimpahan ikan karena menjadi lokasi baru bagi ikan yaitu sebagai tempat berlindungnya serta sebagai sumber bahan makanan yang ada pada terumbu karang yang penting bagi ikan. Terumbu karang buatan dapat menyediakan substrat sebagai tempat dari menempelnya invetebtrata yang ada di laut, dengan begitu terumbu karang buatan tersebut dapat menarik perhatian ikan ataupun makhluk hidup yang ada di sekitar (Bohnsack & Sutherland, 1985; Baine, 2001).

Artificial reef atau yang biasa dikenal dengan sebutan terumbu karang buatan merupakan sebuah benda yang diturunkan ke dasar perairan yang kemudian akan memiliki fungsi menyerupai habitat ikan pada aslinya. Bnrtruk dari terumbu karang buatan memiliki banyak jenis, seperti balok kayu, papan, kendaraan bekas, semen besi serta kapal ataupun barang bekas lainnya. Barang – barang tersebut dapat dimanfaatkan sebagai terumbu karang buatan yang akan dimanfaatkan oleh organisme yang ada dilaut (Bohnsack & Sutherland, 1985; Baine, 2001).



Gambar 10. Kondisi Terumbu Karang Buatan dari Ban Bekas di Perairan Florida
Sumber: Baine (2001)



Gambar 11. Terumbu Karang Buatan yang dihuni oleh Ikan-Ikan Kecil
Sumber: Lima et al. (2019)

➤ Tujuan Pembuatan Terumbu Karang Buatan

Kerusakan terumbu karang dapat mempengaruhi kehidupan makhluk hidup yang ada disuatu perairan. Terumbu karang buatan merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengganti tempat tinggal makhluk hidup yang pada dasarnya tinggal di kawasan terumbu karang. Usaha perbaikan lingkungan perairan dapat dilakukan dengan cara melakukan penanaman terumbu karang buatan. Terumbu karang buatan merupakan suatu struktur yang sengaja ditempatkan di dasar perairan dengan cara meniru seperti layaknya terumbu karang alami (Baine, 2001). (Baine, 2001; Lima et al., 2019).

Artificial reef atau terumbu karang buatan memiliki merupakan suatu teknologi atau teknik yang diharapkan dapat mengembalikan fungsi dari ekologi terumbu karang. Dampak dari pembuatan terumbu karang atau *Artificial reef* membawa dampak positif bagi perikanan salah satunya adalah meningkatkan produktivitas dari perikanan. Meningkatnya produktivitas perikanan maka akan menghasilkan tangkapan atau hasil perikanan tangkapyang melimpah. Selain dapat meningkatkan produktivitas perikanan, pembuatan terumbu karang buatan ini mampu menarik perhatian bagi para wisatawan. Adanya pembuatan terumbu karang dapat dijadikan sebagai taman laut, dapat berfungsi sebagai pelindung pantai serta dapat dijadikan sebagai sarana budidaya bagi perikanan (Lima et al., 2019).

Terumbu karang buatan dilihat dari fungsi serta peranannya, maka tujuan dari pembuatan terumbu karang buatan memiliki banyak tujuan serta manfaat yang positif. Bohnsack dan Sutherland (1985) serta Baine (2001), tujuan dari pembuatan terumbu karang buatan adalah sebagai pengembangan sector perikanan, sebagai tempat tinggal makhluk hidup, sebagai sector pariwisata serta sebagai wilayah konservasi daerah pesisir. Dalam menentukan tujuan dari pembuatan terumbu karang buatan harus dilihat dalam hal desain, konstruksi, serta pemilihan material yang akan digunakan dalam pembuatan terumbu karang buatan.

Konstruksi dari pembuatan terumbu karang harus fleksibel dalam hal bentuk, ukuran, serta volume harus diperhatikan. Konstruksi yang tepat dapat menarik perhatian dari ikan yang akan tinggal di terumbu karang buatan tersebut. Kerangka konstruksi dari terumbu karang buatan juga harus diperhatikan dalam pengaruhnya, apakah kerangka tersebut memiliki pengaruh buruk bagi lingkungan serta tidak mudah rusak atau tercerai berai (Bohnsack & Sutherland, 1985; Baine, 2001).

Pembuatan terumbu karang buatan merupakan salah satu struktur yang dibuat oleh manusia yang kemudian akan diletakan di dasar perairan. Terumbu karang dapat berfungsi untuk meniru atau menyerupai peranan dari ekologi terumbu karang. Pembuatan terumbu karang ini memiliki tujuan untuk memperbaiki terumbu karang yang rusak. Dalam pembuatan terumbu

karang buatan dibutuhkan rancangan khusus dan memiliki bentuk seperti reef ball, pipa beton, bangkai kapal serta kubus beton (Vivier et al., 2021).

Berikut ini terdapat beberapa peran dari pembuatan terumbu karang buatan menurut Bohnsack dan Sutherland (1985), Baine (2001), dan Lima et al. (2019):

- a. Pembuatan terumbu karang buatan dapat digunakan untuk memulihkan kondisi terumbu karang yang telah rusak.
- b. Terumbu karang buatan dapat dimanfaatkan sebagai penyedia tempat pemijahan bagi ikan atau spawning ground.
- c. Terumbu karang buatan berfungsi sebagai *nursery* ground atau sebagai tempat budidaya ikan.
- d. Terumbu karang buatan ini juga mampu dalam mengurangi tekanan dalam penangkapan ikan pada habitat terumbu karang alami.
- e. Terumbu karang buatan memiliki manfaat dalam segi ekonomi yaitu dapat meningkatkan perekonomian masyarakat pesisir pantai.
- f. Terumbu karang buatan mampu membuat kondisi perairan menjadi optimal.

➤ Jenis Jenis Terumbu Karang Buatan

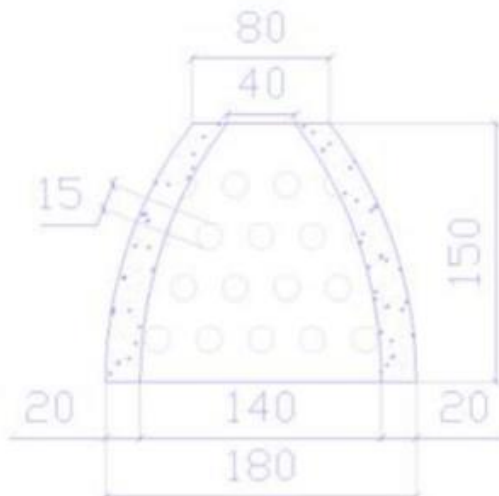
***Concrete Reefball* (Baine, 2001).**

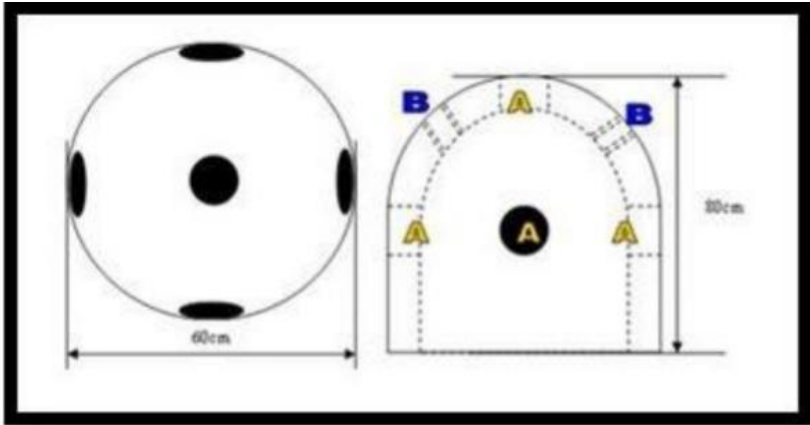
Concrete reef balls merupakan salah satu jenis rekayasa struktur bangunan terumbu karang buatan yang terbuat dari bahan utama beton. Jenis ini mempunyai bentuk seperti bola atau setengah lingkaran. *Concrete reef balls*

sengaja diturunkan ke dasar laut dengan maksud memperbaiki ekosistem yang perairan yang telah rusak. Terumbu buatan disusun sesuai dengan ekosistem yang berperan sebagai rumah, tempat berkembang biak, tempat berlindung, serta tempat untuk mencari makan biota laut (Baine, 2001; Boström-Einarsson et al., 2020). Berikut merupakan gambar dari *concrete reefballs*:



Gambar 12. *Concrete Reefball*





Gambar 13. Desain dan Ukuran Terumbu Karang Buatan Concrete Reefball (Baine, 2001; Vivier et al., 2021)

Ceramic Ecoreef

Ceramic Ecoreef merupakan batuan terumbu karang buatan yang umumnya dibuat untuk hiasan pada aquarium. Pembuatan keramik terumbu karang mempunyai tujuan untuk mengurangi penggunaan terumbu karang asli sebagai karang hias. *Ceramic ecoreef* merupakan batuan steril yang terbuat dari bahan utama keramik yang ringan dengan banyak lubang untuk memudahkan pertumbuhan koloni karang baru serta perkembangan bakteri sebagai bentuk reaksi biologis. Boström-Einarsson et al. (2020), rehabilitasi terumbu karang dapat terbuat dari limbah konstruksi bangunan berupa pecahan lantai keramik yang dibungkus dengan jaring purse seine bekas yang diikat dengan tali kemudian diprkuat menggunakan kawat. Berikut merupakan gambar dari ceramic ecoreef



Gambar 14. *Ceramic Ecoreef*

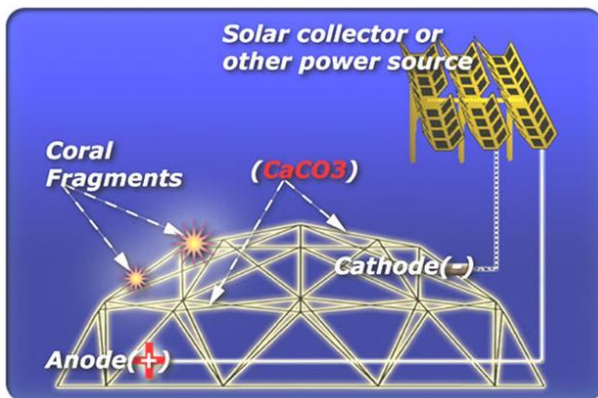
Biorock

Pembuatan terumbu karang buatan dengan teknologi *biorock* mempunyai fungsi untuk mempercepat pertumbuhan karang di daerah perairan yang rusak serta mengembalikan habitat terumbu karang yang sudah ada. Pembuatan struktur *biorock* berasal dari kerangka besi dengan model setengah pipa yang ditutupi menggunakan kawat ram. Teknologi *biorock* menggunakan listrik dengan tegangan rendah melalui elektroda. Kerangka besi pada *biorock* berfungsi sebagai katoda yang bertugas untuk menyuplai *electron* ke ion-ion dalam larutan untuk menimbulkan terjadinya proses reaksi kimia. Timah pelat yang dililit yang kemudian diletakkan tergantung pada ditengah-tengah kerangka besi berperan sebagai material anoda (Sabater & Yap, 2004).

Pengoperasian teknologi *biorock* dilakukan dengan menghubungkan material anoda dan katoda dengan supply yang berperan sebagai komponen penyedia arus listrik. Power supply yang digunakan dapat berasal dari jenis baterai charger. Sumber listrik yang digunakan dapat berasal dari PLN yang kemudian akan disalurkan ke power supply untuk diubah arusnya menjadi arus searah (DC). Tegangan yang digunakan sekitar 12 Volt dan 3-4 Ampere. Kerangka dengan sumber arus dapat dihubungkan menggunakan kawat tembaga. Pada setiap sambungan untuk menghindari adanya proses korosi dapat dicegah dengan pemakaian lem *epoxy*. Arus listrik dibiarkan terus mengalir pada kerangka sampai terbentuknya deposit mineral pada kerangka *biorock*. Langkah yang diambil untuk menghindari adanya overheating maka dilakukan pemasangan kipas angin serta selama 2 jam sehari penyambungan arus akan diputuskan (Sabater & Yap, 2004). Berikut merupakan contoh dari *biorock*.



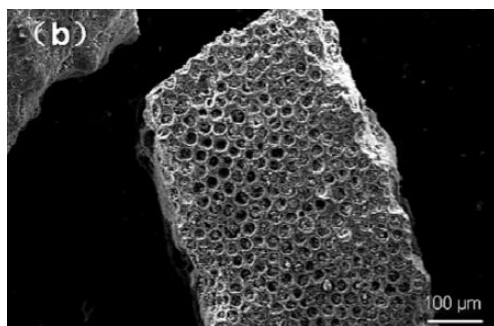
Gambar 15. *Biorock*



Gambar 16. Kerangka *Biorock*

Concrete Eco Coral

Concrete eco coral merupakan terumbu karang buatan yang terbuat dari beton. Terumbu karang buatan ini berasal dari bahan semen, silica fume serta menggunakan dua jenis pasir sungai alami dan pasir koral. Terumbu buatan ini mempunyai partikel kasar dengan struktur yang berpori. *Concrete eco coral* merupakan terumbu buatan yang ramah lingkungan dengan bahan berbasis karang daur ulang (Boström-Einarsson et al., 2020; Vivier et al., 2021). Berikut merupakan contoh gambar *concrete eco coral*:



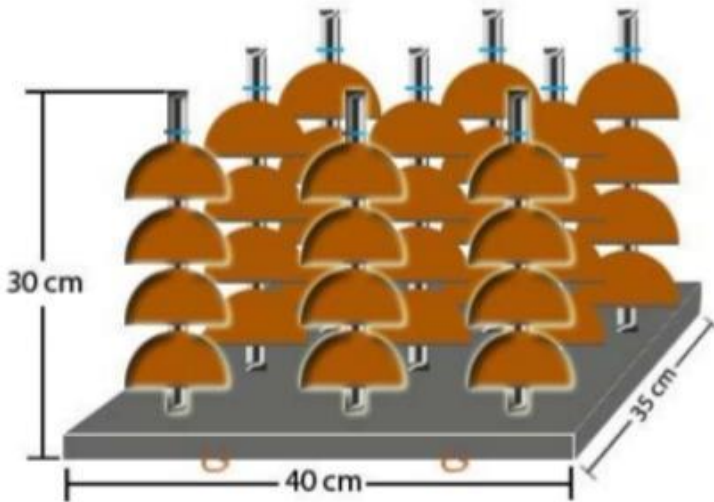
Gambar 17. *Concrete Eco Coral*

Tradisional

Pembuatan terumbu karang buatan dengan metode tradisional salahsatunya dapat menggunakan bahan utama tempurung kelapa sebagai media penempelan larva planula karang baru hingga menjadi individu baru. Tempurung kelapa menjadi media untuk perekrutan hewan karang individu baru. Jenis ini biasa disebut dengan bioreeftek. Kegiatan tersebut merupakan upaya untuk memanfaatkan limbah tempurung kelapa yang menumpuk di pesisir pantai. Bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan diantaranya yaitu tempurung kelapa, rangka besi, pipa alumunium, kayu, kawat, triplek, pasir-batu, semen dan cable ties. Alat-alat yang digunakan untuk pembuatan bioreeftek antara lain sendok semen, gurinda dan juga tempat utuk membuat campuran semen (Boström-Einarsson et al., 2020). Berikut merupakan gambar dari bioreeftek,



Gambar 18. Tempurung Kelapa sebagai Bahan Pembuatan Terumbu Buatan

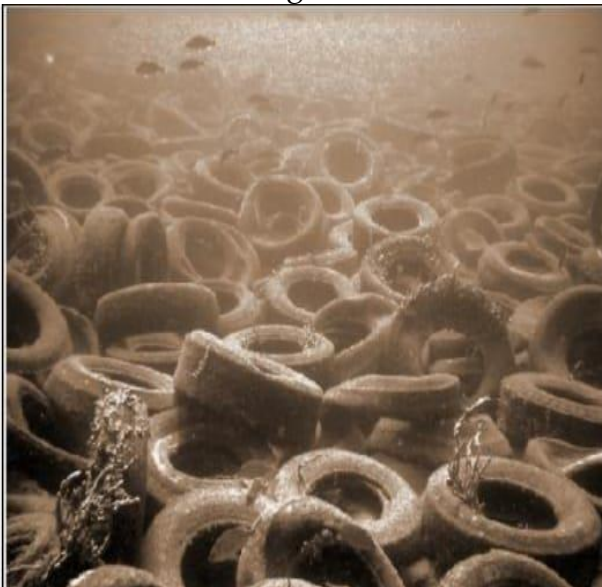


Gambar 19. Desain dan Ukuran Terumbu Karang Buatan dari Bahan Tempurung Kelapa (Boström-Einarsson et al., 2020)

Pembuatan terumbu karang buatan juga dapat menggunakan ban mobil bekas sebagai bahan terumbu karang buatan metode tradisional. Ban bekas dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan terumbu karang buatan yang nantinya dapat dimanfaatkan oleh ikan atau biota laut lainnya sebagai tempat tinggal bagi ikan (Baine, 2001). Berikut ini merupakan gambar terumbu karang buatan dari ban mobil bekas.

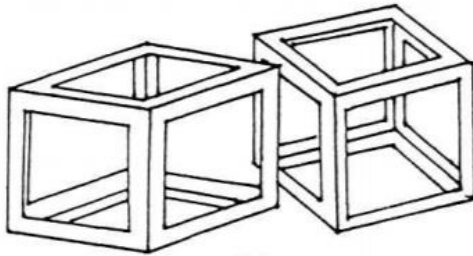


Gambar 20. Ban Bekas yang digunakan Sebagai Terumbu Karang Buatan

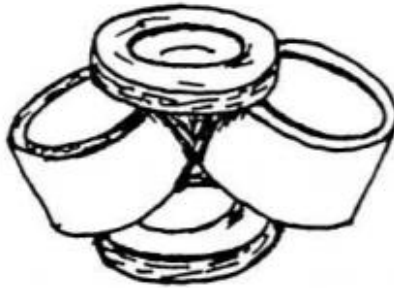


Gambar 21. Desain Terumbu Karang Buatan
Menggunakan Ban Mobil Bekas
(Baine, 2001)

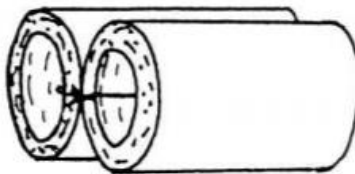
Terumbu buatan (*artificial reefs*) adalah struktur bangunan yang ditenggelamkan didasar perairan laut yang bertujuan seperti habitat terumbu karang, yang berperan sebagai tempat perlindungan, tempat regenerasi, pengumpul serta dapat meningkatkan populasi sumberdaya biota laut. Terumbu buatan secara tradisional telah lama diterapkan oleh para nelayan di Indonesia sebagai upaya pengumpulan ikan yang bertujuan untuk meningkatkan hasil tangkapan ikan. Struktur buatan umumnya dibuat dengan menggunakan bahan-bahan alami, seperti bambu dan kayu. Kemudian pada penerapan berikutnya, periode tahun 90-an terumbu buatan telah diaplikasikan untuk rehabilitasi dan restorasi terumbu karang yang umumnya dengan menenggelamkan substrat beton. Beberapa kombinasi beton ban bekas yang di rangkai digunakan untuk tujuan pengumpulan ikan. Kemudian pada perkembangan berikutnya, berbagai desain substrat terumbu buatan telah digunakan, seperti bentuk kubus, reef ball, pyramid, pipa, dan lain-lain (Baine, 2001; Lima et al., 2019). Terumbu karang buatan juga dapat dibentuk dari berbagai material seperti ban mobil bekas, kendaraan bekas, beton, kapal rusak, bambu, batuan lain-lain (Baine, 2001; Vivier et al., 2021).



Gambar 22. Bentuk Terumbu Buatan dari Beton
(Baine, 2001)



Gambar 23. Bentuk Terumbu Buatan dari Gabungan Pipa
dan Ban Bekas
(Baine, 2001).



Gambar 24. Bentuk Terumbu Buatan dari Pipa Saluran
Air
(Baine, 2001)

➤ Keunggulan dan Kelemahan Masing-Masing Jenis Terumbu Buatan

Berbagai macam teknik yang dapat dilakukan untuk memulihkan fungsi ekosistem karang yang semestinya salah satunya adalah menggunakan terumbu karang buatan. Setiap teknologi yang digunakan untuk rehabilitasi ekosistem terumbu karang tentunya mempunyai kelebihan dan kelemahan masing-masing. Terumbu karang buatan juga memiliki kelebihan serta kelemahan yang dimiliki setiap jenis terumbu karang buatan yang digunakan. Berikut tabel kelebihan dan kelemahan teknik terumbu buatan. (Bohnsack & Sutherland, 1985; Baine, 2001).

Tabel 1. Kelebihan dan Kelemahan Teknik Terumbu Buatan

No	Jenis Terumbu Karang Buatan	Kelebihan	Kelemahan
1.	<i>Concrete Reefball</i>	Membutuhkan waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan ban bekas untuk dilekati oleh karang. Lebih awet.	Termasuk ke dalam kategori terumbu karang buatan dalam kategori yang mahal. (Perdanawati 2015)

		(Perdanawati 2015)	
2.	<i>Ceramic Ecoreef</i>	Membutuhkan waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan ban bekas untuk dilekati oleh karang. Lebih awet. (Perdanawati 2015)	Termasuk ke dalam kategori terumbu karang buatan dalam kategori yang mahal. (Perdanawati 2015)
3.	<i>Concrete Eco Coral</i>	Membutuhkan waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan ban bekas untuk dilekati oleh karang. Lebih awet. (Perdanawati 2015)	Termasuk ke dalam kategori terumbu karang buatan dalam kategori yang mahal. (Perdanawati 2015)
4.	<i>Biorock</i>	• Mempercepat pertumbuhan karang • Waktu pemulihan	Kurangnya kajian dan monitoring yang lebih spesifik mengenai

		ekosistem yang rusak relatif lebih singkat • Parameter keberhasilan lebih terukur • Biaya yang digunakan lebih terperinci (Siahaan <i>et al.</i> 2018)	komunitas biota dan tutupan terumbu karang pada daerah <i>biorock</i> (Siahaan <i>et al.</i> 2018)
5.	Tradisional (Ban bekas, Besi, Bangkai kapal)	Termasuk dalam kategori terumbu karang buatan yang murah dan terjangkau karena menggunakan barang bekas yang dapat dimanfaatkan kembali. Mudah dilakukan. Mudah dipasang (Nanlohy, 2018)	Membutuhkan waktu yang cukup lama (>4 tahun) hingga dapat dimanfaatkan oleh biota yang ada di perairan (Nanlohy 2018).

➤ Teknik Pemilihan Lokasi yang akan Diletakkan TKB dan Teknik Peletakan dari Darat ke Laut Terumbu Buatan

Teknik Pemilihan Lokasi Terumbu Karang

Teknik pemilihan lokasi terumbu karang buatan mengacu pada pertimbangan desain, material, stabilitas, keselamatan navigasi, dan tujuan ekologis (Bohnsack & Sutherland, 1985; Baine, 2001; Lima et al., 2019).

Dalam pemilihan lokasi untuk peletakan terumbu karang buatan harus meliputi beberapa faktor yaitu:

A. Lingkungan Fisik

- a. Dasar perairan yang ditempati harus dapat memenuhi proses dekomposisi bahan organik dan siklus hara
- b. Terhindar dari arus ataupun gelombang yang kencang
- c. Tingkat kejernihan perairan yang masih terbilang bagus
- d. Suhu perairan yang baik sekitar 28-30°C
- e. Kedalaman yang baik sekitar 15-20 meter
- f. Topografi dasar perairan harus memiliki kemiringan 30°C dan juga luas
- g. Tekstur dasar perairan sebaiknya berbatu keras, kandungan lumpur cukup 10%
- h. Jauh dari muara sungai
- i. Jarak peletakan terumbu karang buatan harus memiliki jarak minimal 1 km dari terumbu karang alami

- j. Lokasi berada dekat dengan pemukiman para nelayan.
 - k. Perairan yang ditempati oleh terumbu karang buatan cukup jernih.
 - l. Kedalaman lokasi penempatan berdasarkan jarak dari pesisir perairan serta kemampuan penyelam dalam melakukan pengamatan pada kedalaman yang bersangkutan.
 - m. Kondisi perairan memenuhi syarat hidup dari terumbu karang buatan itu sendiri seperti salinitas, kecerahan, sedimentasi serta kedalaman.
 - n. Lokasi penempatan terumbu karang buatan jauh dari area penangkapan ikan terutama penangkapan menggunakan trawl.
 - o. Keadaan substrat yang digunakan dalam penempatan terumbu karang buatan adalah yang cukup keras dan rata guna mencegah terumbu buatan tertanam ke dasar perairan.
 - p. Tidak membahayakan bagi navigasi.
 - q. Lingkungan Kimiawi
 - r. Fosfat dan nitrat yang terpenuhi dengan baik
 - s. Oksigen terlarut yang baik sekitar 4 hingga 8 ppm
 - t. Kadar salinitas yang baik yaitu 32 hingga 35 ppt
 - u. Karbonat dan silikat yang terpenuhi
- B. Lingkungan Biologi
- a. Kelimpahan plankton yang dapat berfungsi untuk makanan bagi terumbu karang buatan
 - b. Orientasi organisme akan menentukan bagaimana organisme yang ada dalam perairan akan merasa

nyaman untuk tinggal di dalam terumbu karang buatan

- c. Biomassa organisme yaitu populasi ikan yang ada akan mempengaruhi keberhasilan pengumpulan ikan pada terumbu karang buatan tersebut
- d. Hubungan antar organisme menjadi salah satu aspek penting dalam menentukan lokasi peletakan terumbu karang karena akan dapat menjadi pemicu organisme lain untuk ikut hidup di dalam terumbu karang buatan

C. Kondisi sosial dan budaya

- a. Kebutuhan penduduk merupakan faktor penting untuk menentukan skala prioritas yang dibutuhkan oleh penduduk
- b. Kepedulian penduduk menjadi pengaruh penting dalam keberhasilan terumbu karang buatan
- c. Kebiasaan penduduk harus diperhatikan agar dapat dilakukan pengawasan ataupun sosialisasi dengan tepat
- d. Tata ruang daerah yang cocok juga harus diperhatikan agar konflik antar sektor dapat dihindari
- e. Dekat dengan kampung nelayan agar mudah dalam segi pengawasan dan pemanfaatan
- f. Sangat penting memperhatikan aksesibilitas agar dapat dengan mudah melakukan peletakan terumbu karang buatan
- g. Sarana yang lengkap akan memudahkan dalam melakukan pengawasan serta pemantauan

Teknik Peletakan Terumbu Karang Dari Darat Ke Laut

Setelah menentukan lokasi yang baik untuk penempatan terumbu karang buatan maka selanjutnya yaitu melakukan penurunan 1 unit terumbu karang buatan yang digunakan sebagai titik pusat dengan diberi pelampung sebagai penanda agar mudah diketahui. Kemudian alangkah baiknya lagi jika dibuatkan transek persegi empat sebagai daerah peletakan penurunan terumbu karang buatan. Penurunan terumbu karang buatan dilakukan dari atas perahu atau kapal yang dibantu dengan menggunakan tali dan juga pelampung. Boström-Einarsson et al. (2020) proses kegiatan dalam melakukan peletakan terumbu karang buatan dari darat ke laut yaitu membutuhkan dua kapal, satu kapal untuk membawa tim yang bertugas dan satu kapal lainnya digunakan untuk membawa bioreeftek. Lokasi yang dipilih harus terlindung dari ombak yang kuat, dasar perairannya yang relatif rata dan lokasi tersebut sangat jarang dilintasi perahu ataupun kapal-kapal nelayan. Butuh penyelam handal atau keahlian khusus dalam melakukan penurunan serta peletakan terumbu karang ke dasar perairan. Nelayan yang terlibat dalam kegiatan ada yang membantu dari atas kapal dan juga ada yang ikut serta menyelam agar dapat melihat secara langsung proses peletakan serta penataan terumbu karang buatan dengan harapan nantinya mereka juga dapat melakukan hal yang sama dengan nelayan-nelayan yang lain untuk terus peduli terhadap kelautan.

➤ Biaya Pembuatan dan Peletakan Terumbu Buatan

Biaya yang dikeluarkan dalam pembuatan terumbu memiliki variasi yang berbeda-beda, tergantung dari bahan yang digunakan. Bahan-bahan utama yang dapat dijadikan sebagai terumbu buatan adalah ban bekas dari kendaraan, bangkai mobil atau bus, beton, hingga fiberglass. Guna menciptakan terumbu buatan maka perlu memperhatikan aspek daya tahan, harga, biaya penanganan dan celah serta permukaan untuk biota-biota laut berindung di dalamnya (Baine, 2001; Vivier et al., 2021). (Baine, 2001).

Berikut merupakan tabel materi pembentuk terumbu buatan menurut Baine (2001)

Tabel 2. Materi pembentuk terumbu buatan

Material	Umur	Harga	Biaya Pengangkutan dan Penanganan	Celah dan Permukaan
Bangkai mobil	3-5 tahun	Rendah	Tinggi	Baik
Tumpukan batu karang	Lama	Sedang	Tinggi	Sangat baik
Puing bangunan	Lama	Rendah	Tinggi	Baik
Bangunan beton	Lama	Tinggi	Tinggi	Sangat baik
Kapal tua	Lama	Tinggi	Sedang	Baik
Ban bekas	Lama	Rendah	Rendah	Sangat baik

Bekas anjungan minyak	Lama	Bekas	Tinggi	Baik
fiberglass	20 tahun	Tinggi	Sedang	Baik

Baine (2001) dan Lima et al. (2019), Efisiensi biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan terumbu karang buatan harus dapat mempertimbangkan dengan hasil yang akan diperoleh nantinya untuk jangka panjang sehingga diharapkan mendapat keuntungan yang maksimum.

➤ Peran Terumbu Karang Buatan

Keberadaan terumbu karang buatan bertujuan untuk dapat memberikan suatu fungsi ekologis yaitu dengan menciptakan suatu habitat baru. Terumbu karang buatan dapat meningkatkan kelimpahan ikan karena lokasi ini dapat menjadi lokasi tempat berlindung bagi ikan dan sumber bahan makanan yang ada di terumbu karang penting bagi ikan yang menempatnya, hal ini dapat terjadi karena terumbu karang buatan menyediakan suubstrat sebagai tempat menempelnya invertebrata laut dengan demikian terumbu karang ini dapat menarik berbagai organisme laut mulai dari plankton hingga ikan. Faktor penting yang mempengaruhi keberhasilan terumbu karang buatan untuk meningkatkan komunitas organisme laut adalah ukuran, relief, luas permukaan, kerumitan dan lokasi penempatan dari terumbu buatan

(Bohnsack & Sutherland, 1985; Baine, 2001; Lima et al., 2019).

Terumbu karang buatan memiliki beberapa fungsi, yaitu mengumpulkan organisme laut untuk meningkatkan efisiensi penangkapan, melindungi dan menyediakan area asuhan, meningkatkan produktivitas alami dengan menyediakan habitat baru yang permanen bagi biota penempel dan menjaga keseimbangan siklus rantai makanan, serta menyiapkan habitat dan simulasi karang alami untuk spesies tertentu. Terumbu buatan juga berfungsi untuk mempercepat proses pemulihan dari ekosistem terumbu karang yang rusak melalui penyediaan media penempelan dan pertumbuhan larva karang (Baine, 2001; Boström-Einarsson et al., 2020).

Terumbu karang buatan yang ada di suatu perairan selain berperan sebagai substrat karang, juga dapat menjadi habitat bagi ikan karang. Bentuk dari terumbu karang yang sangat sesuai dengan terumbu karang yang alami, juga dapat dimanfaatkan sebagai tempat berlindung, mencari makan dan menjadikan kelimpahan ikan yang hidup di tempat ini menjadi banyak (Bohnsack & Sutherland, 1985; Sherman et al., 2002).

➤ **Manfaat Terumbu Karang Buatan**

Terumbu karang pada saat ini menghadapi beberapa ancaman yang semakin hebat, termasuk penangkapan ikan yang berlebihan, pembangunan wilayah pesisir, limpasan dari pertanian, dan aktivitas pelayaran. Pembuatan terumbu karang buatan secara lestari saat ini

sangat penting dilakukan karena ekosistem terumbu karang yang sangat produktif dapat mendukung kehidupan nelayan di sekitar perairan setempat. Jika habitat terumbu karang dapat berfungsi secara optimal, maka produksi ikan- ikan karang akan dapat dimanfaatkan dan akan memberikan keuntungan secara sosial dan ekonomi bagi masyarakat khususnya nelayan, untuk masa kini dan masa depan (Baine, 2001; Lima et al., 2019). (Baine, 2001; Lima et al., 2019).

Manfaat yang terkandung di dalam ekosistem terumbu karang sangat besar dan beragam. Manfaat langsung dari dibuatnya terumbu karang buatan adalah terciptanya habitat baru bagi ikan dan biota lainnya serta menambah keindahan pariwisata bahari dan juga bermanfaat sebagai penahan abrasi pantai dan pemecah gelombang buatan yang dapat diperbanyak secara berkala. Terumbu buatan (*Artificial reef*) jenis ini berfungsi untuk menjadi tempat tinggal atau sarang baru bagi ikan dan dapat melestarikan ekologis terumbu karang sebagai habitat biota laut seperti ikan dan lain sebagainya serta dapat meredam gelombang sehingga dapat menjadi sebagai pengaman buatan yang ada pantai (Baine, 2001; Lima et al., 2019).

BAB V

REHABILITASI EKOSISTEM MANGROVE

➤ Pengantar Ekosistem Mangrove

Tumbuhan yang mampu beradaptasi dengan lingkungan pesisir, jenis tumbuhan yang masuk dalam kelompok halofit dan biasa ditemukan di daerah dengan iklim tropis dan subtropis dan biasa disebut dengan hutan bakau. Tanaman yang tumbuh diantara batas pasang tertinggi dan terendah dianggap sebagai bakau. Hutan bakau adalah ekosistem paling produktif dan penting secara biologis di dunia (Kathiresan & Bingham, 2001; Alongi, 2008). Luas hutan bakau menyumbang 0,7% dari luas permukaan bumi dan Asia tenggara merupakan kawasan yang menyumbang keanekaragaman hayati jenis bakau terbesar di dunia. Giri et al. (2011) dan Friess et al. (2019) hutan bakau tersebar luas di 118 negara di dunia dengan luah lahan 150.000 Km². Indonesia sendiri memiliki luas hutan bakau 3,4 juta Ha yang mencakup 23% dari total bakau secara global dan Indonesia memiliki sebanyak 202 jenis bakau yang tersebar pada pantai pesisir baik di pulau-pulau besar ataupun kecil (Giri et al., 2011; Friess et al., 2019). (Lewis, 2005; Primavera & Esteban, 2008).

Hutan bakau memiliki struktur yang lebih sederhana jika dibandingkan dengan hutan hujan tropis. Bakau menyediakan berbagai macam jasa lingkungan seperti menyerap blue karbon, perlindungan badai dan merupakan habitat yang unik bagi beberapa jenis makhluk hidup. Bakau dengan bentuk dan daya dukungnya dapat menstabilkan kawasan yang ada di pesisir terutama dalam hal perubahan garis pantai karena faktor lingkungan ataupun bencana seperti tsunami, angin topan, erosi, dan gelombang tinggi. Peran dari bakau tersebut menjadikannya sebagai aset yang unik dalam menjaga dan melindungi kawasan pesisir. Ekosistem ini juga menyimpan sumberdaya yang unik dan penting bagi manusia, sistem pesisir dan laut. Fungsi dari ekosistem bakau seperti tempat bersarang, tempat berkembang biak, daerah asuhan, tempat mencari makan dari berbagai spesies laut dan ikan pelagis. Fungsi ekologi sebagai penghasil atau penyedia dari hasil perikanan dan keanekaragaman hayati. Produktivitas yang tinggi dari ekosistem ini sehingga terjadi penyerapan karbon dan menjadikannya sebagai ekosistem yang menyerap karbon terbaik dari ekosistem manapun. Ekosistem ini secara ekonomi juga memiliki beberapa fungsi diantaranya adalah sebagai sumber makanan, obat-obatan, dan bahan bangunan dan fungsi sosial budaya bagi masyarakat lokal yang ada disekitarnya. Ekosistem bakau ini juga memiliki fungsi ekonomi sebagai sumber makanan, obat-obatan, bahan

bakar dan bangunan bagi masyarakat lokal yang berada disekitarnya (Barbier et al., 2011; Friess et al., 2019).

Peran dan fungsi bakau yang bermacam-macam oleh pandangan manusia hanya dinilai dan dimanfaatkan dari segi ekonominya saja. Aktivitas penambangan menyebabkan degradasi yang cukup besar, pemanfaatan secara komersial dan destruktif berpotensi akan menghilangkan hutan bakau. Pemanfaatan ekosistem pesisir sebagai kawasan penting dengan terbuka (open access) menyebabkan eksploitasi yang dilakukan secara berlebihan Khususnya pada hutan mangrove. Eksploitasi yang berlebihan akan berdampak langsung terhadap masyarakat seperti hilangnya sumber pendapatan. Indonesia memiliki luas hutan bakau terbesar secara global, akan tetapi juga tingkat deforestasinya yang sangat tinggi, terutama pada hutan yang berada pada pesisir utara Jawa. Khusus untuk Pulau Jawa sendiri sudah kehilangan hutan bakau dengan presentase sebesar 75% dari tahun 1800 dengan perkiraan luas hutan mangrove 173.000 ha kemudian menjadi 45.000 ha pada tahun 2012 (Barbier et al., 2011; Friess et al., 2019). Luas hutan mangrove Indonesia mengalami penurunan dari 42.000 km² hingga kurang dari 31.100 km². Deforestasi atau degradasi hutan di Indonesia disebabkan oleh intervensi manusia dan atau dengan tujuan komersial seperti pertanian, budidaya, pariwisata, pengembangan pesisir dan tujuan lainnya (Thomas et al., 2017).

➤ Ekosistem Mangrove

Ekosistem mangrove memainkan bermacam peran di lingkungan pesisir baik dalam aspek fisik maupun ekologi. Peran dalam segi fisik bakau yaitu pelindung kawasan pesisir dari acaman erosi, sedimentasi dan gelombang besar. Bakau juga berfungsi melindungi wilayah pesisir dari bencana alam seperti angin topan dan tsunami, serta secara ekologi bakau berperan dalam mempertahankan habitat dari biota asosiasi untuk menjaga keanekaragaman hayati di dalamnya. Bakau memiliki potensi ekonomi penting sebagai sumber perikanan penting, hasil hutan dan aktivitas ekowisata (Barbier et al., 2011; Nagelkerken et al., 2008). (Lewis, 2005).

Barbier et al. (2011) dan Nagelkerken et al. (2008) fungsi utama dari hutan mangrove adalah pelindung garis pantai, mencegah intrusi air laut, sebagai habitat dari berbagai organisme, tempat mencari makan, tempat bertelur, pemijahan dan pembesaran dari berbagai biota perairan serta sebagai pengatur iklim mikro sedangkan dilihat dari fungsi ekonominya meliputi sebagai penyedia bahan untuk produksi arang dan obat-obatan. Hutan bakau memberikan jasa ekosistem penting seperti pemeliharaan kualitas air pad awilayah pesisir, mengurangi dampak dari badai, mencegah banjir dan menahan gelombang, dan sebagai sumber daya hayati serta tempat berkembangbiaknya spesies perikanan komersial (Barbier et al., 2011; Nagelkerken et al., 2008).

Keanekaragaman hayati pada ekosistem mangrove merupakan ekosistem yang paling tinggi dari ekosistem manapun di dunia dan ditempati oleh organisme yang berasal dari darat ataupun perairan. Organisme-organisme tersebut menempati habitat terdiversifikasi seperti hutan inti, lantai hutan yang berupa serasah, hamparan lumpur, daratan, badan air berupa sungai, teluk, anak sungai, dan lain sebagainya, terumbu karang, dan ekosistem lamun. Ekosistem mangrove tercatat disusun oleh 4.011 spesies berbeda yang mencakup 920 jenis flora (23%), 2.091 jenis fauna (77%). Keanekaragaman flora mencakup alga laut sebanyak 557 jenis dengan dominasi 60,1% dari jumlah keseluruhan flora, diikuti oleh jamur 11,2%, asosiasi mangrove 9,3%, bakteri 7,5%, mangrove 4,2%, dan lain-lain. Invertebrata mendominasi 24,1% dengan 745 jenis dalam keanekaragaman hayati Fauna, diikuti serangga 22,3%, ikan bersisip 17,6%, burung 13,8%, moluska 9,9% dan lain-lain (Kathiresan & Bingham, 2001; Nagelkerken et al., 2008). Fungsi ekologi dari hutan bakau adalah sebagai penyambung dan penyeimbang antara ekosistem darat dan laut. Serasah yang dihasilkan oleh pohon bakau memiliki peranan penting dalam transfer organik dari vegetasi ke dalam tanah dengan melalui proses dekomposisi terlebih dahulu. Proses dekomposisi di dalam tanah sangat penting untuk pertumbuhan bakau itu sendiri dan sebagai sumber destritus bagi ekosistem laut dan estuari untuk menyokong kehidupan dari organisme akuatik (Alongi, 2008; Nagelkerken et al., 2008). Contoh organisme yang

menghuni ekosistem mangrove adalah gastropoda, gastropoda merupakan biota dekomposer bagi serasah dan mineralisasi materi organik terutama yang bersifat herbivor dan detritivor. Gastropoda yang hidup dalam ekosistem bakau dapat hidup sebagai *epifauna* (di permukaan substrat), *infauna* (di dalam substrat) dan *tree fauna* (menempel pada daun, batang dan akar dari mangrove). Faktor yang paling mempengaruhi persebaran ekosistem mangrove adalah suhu, salinitas dan substrat (Kathiresan & Bingham, 2001; Nagelkerken et al., 2008).

Hutan bakau melindungi wilayah pesisir dari fenomena fisik laut karena terletak diantara daratan dan lautan. Mangrove berfungsi sebagai penyangga dari tsunami. Pohon-pohon bakau menahan dampak kekuatan oleh gelombang tsunami dan ranting-ranting pada pohon menciptakan gesekan yang menyebabkan berkurangnya energi dari gelombang tsunami, sehingga wilayah atau daerah yang berada tepat di hutan mangrove mengalami dampak kerusakan yang lebih kecil. Hutan bakau juga memiliki peranan penting dalam siklus karbon dalam menghilangkan CO₂ di atmosfer dan menyimpannya sebagai bahan karbon di dalam tumbuhan. Vegetasi bakau merupakan kawasan yang kaya dengan karbon dan diperkirakan penyerapan karbon yang dilakukan 50 kali lebih besar dari pada vegetasi pada hutan hujan tropis. Penilaian karbon rata-rata hutan bakau telah dilaporkan bahwa hutan bakau di kawasan Indo-Pasifik, yaitu Indonesia hutan mangrove mengandung rata-rata karbon

1.023 ton per hektare lahan yang sebagian besarnya disimpan pada tanah kedalaman 30 cm (Barbier et al., 2011; Nagelkerken et al., 2008).

➤ **Zonasi dan Karakteristik Mangrove**

Zonasi Mangrove (Lewis, 2005; Lewis & Brown, 2014).

Kathiresan dan Bingham (2001) mangrove pada umumnya dapat tumbuh dalam 4 zona, yaitu pada zona wilayah mangrove terbuka, zona wilayah mangrove tengah, zona wilayah mangrove yang memiliki sungai berair payau sampai dengan air yang tawar, dan zona wilayah mangrove yang menuju ke arah daratan yang memiliki air tawar. Berikut adalah penjelasan di setiap zonasi mangrove yaitu zona wilayah mangrove terbuka, zona wilayah mangrove tengah, zona wilayah mangrove payau, dan zona wilayah mangrove daratan, sebagai berikut:

A. Zonasi Mangrove Terbuka

Zonasi mangrove terbuka ini yaitu mangrove berada di bagian yang berdekatan bahkan berhadapan dengan wilayah laut. Kathiresan dan Bingham (2001), telah menemukan kalau di baggian karang apung, di Sumatera Selatan, di zona mangrove terbuka ini lebih dominan oleh janis mangrove *Sonneratia alba* yan dapat tumbuh di area yang memang di wilayah tersebut telah dipengaruhi oleh air laut. Kathiresan dan Bingham (2001), jenis mangrove *Sonneratia alba* dan *Avicennia alba* tersebut merupakan salah satu jenis-

jenis mangrove yang lebih dominan berada pada area pantai yang sudah tergenang.

Kathiresan dan Bingham (2001) di wilayah Halmahera, Maluku, di zona wilayah tersebut lebih dominan daerah yang teksturnya berpasir, sedangkan untuk jenis mangrove *Avicennia marina* dan *Rizophora mucronata* tersebut lebih dominan untuk zona wilayah mangrove yang teksturnya berlumpur. Sehubungan dengan terjadinya peristiwa berikut mangrove jenis *Sonneratia* ini tetap selalu akan berasosiasi dengan mangrove jenis *Avicennia* jika kondisi tanah yang teksturnya berlumpur kaya akan bahan-bahan organik (Kathiresan & Bingham, 2001).

B. Zonasi Mangrove Tengah

Zonasi mangrove tengah ini berada pada area belakang zona mangrove yang terbuka. Pada zona mangrove tengah tersebut umumnya lebih dominan jenis mangrove *Rizophora*. Kathiresan dan Bingham (2001) di karang agung ditemukan lebih dominan jenis mangrove *Bruguiera cylindrica*. Jenis-jenis mangrove lainnya yang telah ditemukan yaitu jenis mangrove *Bruguiera eriopetala*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Excoecaria agallocha*, *Rizophora mucronata*, *Xylocarpus granatum* dan *Xylocarpus moluccensis*.

C. Zona Mangrove Payau

Zonasi mangrove payau ini berada pada daerah sepanjang sungai berair payau sampai dengan daerah yang hampir berair tawar. Pada zona mangrove payau ini umumnya lebih dominan oleh jenis mangrove *Nypa*

atau *Sonneratia*. Diwilayah karang agung ini terdapat jenis mangrove *Nypa fruticans* pada jalur yang sempit di daerah sepanjang sungai besar. Pada daerah sungai besar tersebut sering ditemukan tegakan *Nypa fruticans* yang tersambung dengan vegetasi jenis *Cerbera sp*, *Gluta renghas*, *Stenochlaena palutris* dan *Xylocarpus granatum*. Kemudian menuju ke arah pantai, campuran sekelompok *Sonneratia* – *Nypa* yang lebih sering dapat mudah ditemukan. Wilayah lainnya seperti pada di Pulau Kaget dan Pulau Kembang di Sungai Barito di Kalimantan Selatan atau di Sungai Singkil, Aceh sering ditemukan jenis mangrove *Sonneratia caseolaris* yang lebih sering ditemukan atau banyak ditemukan, terutama pada wilayah bagian estuari yang berair hampir tawar (Kathiresan & Bingham, 2001).

D. Zonasi Mangrove Daratan

Kathiresan dan Bingham (2001), zonasi mangrove daratan ini berada pada wilayah perairan payau atau hampir perairan tawar yang berada dibelakang jalur mangrove hijau. Kathiresan dan Bingham (2001) jenis-jenis mangrove yang pada umumnya sering ditemukan yaitu yang berada pada zona daratan ini yaitu *Ficus microcarpus* (*Ficus retusa*), *Intsia bijuga*, *Nypa fruticans*, *Lumnitzera racemosa*, *Pandanus sp.* dan *Xylocarpus moluccensis*. Zona mangrove daratan ini mempunyai kekayaan akan jenis mangrove yang lebih tinggi dibandingkan dengan zona mangrove terbuka, zona mangrove tengah, maupun pada zona mangrove payau.

➤ Karakteristik Mangrove

Hutan mangrove atau bisa disebut dengan hutan bakau ini merupakan hutan yang lingkungannya berada di lingkungan perairan payau. Hutan mangrove termasuk dalam jenis hutan yang dipengaruhi oleh adanya pasang surut air laut. Ciri khusus dari ekosistem hutan mangrove ini salah satunya yaitukarena adanya tekstur pelumpuran yana berada diwilayah hutan mangrove tersebut. Dikarenakan dengan kondisi tanah yang dimiliki oleh jenis hutan mangrove ini yaitu cenderung lebih berlumpur, maka hanya sedikit jenis tumbuhan yang dapat bertahan hidup di wilayah tersebut.

Berikut adalah karakteristik atau ciri-ciri yang dimiliki pada hutan mangrove ini yaitu sebagai berikut:

- a. Lebih dominan pada jenis tumbuhan mangrove atau dapat disebut dengan tumbuhan bakau, yaitu tumbuhan yang mempunyai akar yang tumbuhnya diatas permukaan tanah, mencuat dari batang pohon dan batang tanah
- b. Tumbuhan mangrove yang sangat dapat dipengaruhi oleh adanya pasang surut air laut
- c. Dapat tumbuh diwilayah perairan air payau, yaitu perairan yang terdiri atas campuran-campuran air tawar dan juga air asin
- d. Keberadaan tumbuhan mangrove ini pada umumnya terletak di daerah yang telah mengalami tekstur pelumpuran dan juga yang telah mengalami akumulasi bahan-bahan organik (Kathiresan & Bingham, 2001; Alongi, 2008).

Kathiresan dan Bingham (2001) hutan mangrove merupakan suatu ekosistem yang khusus ketika dibandingkan dengan ekosistem-ekosistem lainnya. Hutan mangrove termasuk ekosistem yang spesial dikarenakan ekosistem mangrove tersebut mempunyai flora atau semacam sebutan tumbuhan lainnya yang dapat dikatakan seragam dalam lingkungan ekosistem mangrove dan juga mempunyai vegetasi. Hutan mangrove sebagai salah satu ekosistem pesisir tersebut merupakan suatu ekosistem yang unik, istimewa dan juga rawan. Simbala et al. (2004) hutan mangrove merupakan komunitas vegetasi pantai tropis. Hutan mangrove merupakan komunitas yang hidupnya di kawasan yang lebih lembab serta di kawasan yang berlumpur. Vegetasi merupakan keseluruhan komunitas tumbuhan yang bertempat tinggal di suatu ekosistem. Tipe-tipe dari vegetasi antara lain yaitu hutan, padang rumput, dan kebun.

➤ **Keanekaragaman Ekosistem Mangrove**

Mangrove tumbuh pada daerah yang terendam oleh pasang surut air laut atau dapat tumbuh pada daerah kawasan estuari. Mangrove memberikan berbagai banyak manfaat khususnya manusia dan biota sekitarnya. Indonesia masuk kedalam peringkat pertama dari berbagai negara dengan memiliki luasan mangrove yang sangat luas sekitar 3,1 juta ha atau luas secara global sekitar 22,6% sedangkan luasan mangrove yang berada di dunia sekitar 14 juta ha. Mangrove yang berada di

Indonesia tersebar di berbagai pulau – pulau dan mangrove yang berada di Indonesia lebih bervariasi dibandingkan dengan daerah lainya (Giri et al., 2011; Primavera & Esteban, 2008).

Hutan mangrove yang tersebar di Indonesia cukup banyak mulai dari Sumatera, Sulawesi, Maluku, Kalimantan, Jawa, persendi Bali dan Nusa Tenggara serta ada di Irian Jaya. Namun mangrove yang tumbuh lebat di Indonesia mulai mengalami perubahan drastis yaitu mengalami penurunan sekitar 30% hingga 50% yang digunakan dalam pembuatan bangunan pada daerah pesisir, pembuatan bangunan tambak, dan banyak penebangan liar sehingga mangrove kini mengalami ketidakstabilan. Ekosistem mangrove kaya akan manfaat yang dimiliki dan mempunyai tinggi bahan organik di memanfaatkan langsung oleh biota laut seperti kepiting bakau, ikan, udang, kerang, dan biota lainnya. Kelompok *molusca*, *bivalvia*, dan *gastropoda* juga bersimbiosis dengan ekosistem mangrove yang dijadikan tempat berlindung dan mencari makan. Mangrove merupakan tumbuhan yang dapat dijumpai pada daerah pesisir maupun muara sungai, hal ini yang membuat mangrove sangat unik karena adanya perbedaan karakteristik dan memiliki keanekaragaman yang cukup bervariasi seperti keanekaragaman flora yakni *Bruguiera*, *Avicennia*, *Rhizophora* dan jenis mangrove lainnya. Tumbuhnya mangrove juga termasuk kedalam golongan ekstim karena dapat diketahui dari beberapa faktor untuk pertumbuhan mangrove terutama pada perubahan suhu

dan salinitas (Kathiresan & Bingham, 2001; Friess et al., 2019).

Giri et al. (2011), mangrove yang berada di Indonesia cukup luas dibandingkan luasan mangrove yang berada di Asia karena mangrove yang berada di Indonesia merupakan memiliki luasan mangrove yang tertinggi di dunia. Tingkat keanekaragaman Indonesia cukup banyak dengan memiliki jumlah 202 jenis mangrove yang terdiri dari 89 jenis pohon, 44 jenis epifit, memiliki 44 jenis herba tanah, memiliki 19 jenis pemanjat, dan memiliki 5 jenis palma serta memiliki 1 jenis pohon paku. Jumlah jenis mangrove yang cukup banyak terdapat 2 bagian mangrove sebagai mangrove sejati (*true mangrove*) dan juga mangrove ikutan atau *asociate asociate*. Jenis famili *Avicenniaceae* dan *Rhizophoraceae* salah satu mangrove yang banyak dijumpai di Indonesia karena mampu tumbuh dengan baik dengan terkena pasang surut yang memiliki nilai kadar garam tinggi dan mampu tumbuh pada substrat berlumpur maupun berpasir dengan gelombang yang tinggi. Famili *Rhizophoraceae* mampu tumbuh dengan baik karena dapat beradaptasi dengan lingkungan.

Giri et al. (2011), beberapa jenis mangrove juga sangat sulit ditemui atau sulit tumbuh pada daerah yang memiliki daerah pasang surut air laut yang tinggi dan bersubstrat berlumpur. Namun beberapa jenis pohon mangrove juga dimanfaatkan oleh masyarakat seperti jenis mangrove yaitu *Bruguiera parviflora*, *Rhizophora apiculata*, *Nypa fruticans* dan *Excoecaria agallocha*

sedangkan ada beberapa jenis mangrove yang mampu tumbuh pada daerah pesisir dengan baik seperti *Carbera manghas*, *Sonneratia alba* dan *Avicennia alba*.

Giri et al. (2011) dan Kathiresan dan Bingham (2001), mangrove yang berada di Indonesia cukup luas dan mangrove merupakan pohon yang unik karena dapat tumbuh pada toleran kadar garam. Dangkan Sunda termasuk daerah yang di tumbuhi banyak mangrove pada muara sungai besar seperti tumbuh di Pantai Barat Kalimantan, Pantai Selatan Kalimantan dan juga pada Pantai Timur Sumatra. Keseimbangan alam salah satunya berasal dari ekosistem mangrove karena memiliki berbagai macam manfaat. Indonesia memiliki berbagai jenis pohon mangrove yang telah diketahui sebanyak 20 spesies yang berada dalam 15 famili. Famili *Lythraceae* memiliki beberapa jenis spesies mangrove seperti *Pemphis acidula*, *Sonneratia caseolaris* dan *Sonneratia alba*. Famili *Achantaceae* memiliki beberapa jenis spesies mangrove antara lain *Avicennia marina*, *Acanthus alicifolius* dan *Avicennia alba*. Famili *Combretaceae* memiliki beberapa jenis spesies mangrove seperti *Lumnitzera racemosa* dan *Terminalia catappa* sedangkan pada famili *Rhizophoraceae* memiliki jenis spesies mangrove seperti *Rhizophora mucronata* dan *Rhizophora apiculata*.

➤ Fungsi dan Manfaat Mangrove

Ekosistem mangrove juga dikenal sebagai ekosistem hutan bakau yang tumbuh pada daerah yang secara teratur tergenang oleh air yang dipengaruhi oleh pasang

surut. Mangrove dapat ditemui didaerah yang tolerasi terhadap kadar garam seperti laut, muara sungai dan laguna. Sumberdaya yang dimiliki oleh ekosistem mangrove cukup melimpah dan bermanfaat bagi makhluk hidup lainya serta banyak jenis biota yang menjadikan mangrove sebagai tempat berlindung maupun tempat imigrasi. Mangrove sebagai komunitas vegetasi pantai tropis dan subtropis yang mampu tumbuh pada daerah pantai yang berlindung dan didominasi oleh beberapa jenis mangrove yang mampu tumbuh dan berkembang di daerah pasang surut yang bersubtrat lumpur (Lewis, 2005; Kathiresan & Bingham, 2001).

Ekosistem mangrove merupakan tumbuhan yang cukup unik dan berbeda dari pohon – pohon lainya, yang membedakan mangrove yaitu memiliki ciri – ciri tumbuh antara gabungan dengan pohon yag hidup di darat dan yang hidup di daerah pesisir. Bentuk pertumbuhan mangrove juga berbeda karena memiliki sistem perakaran yang disebut dengan pneumatofor yang artinya memiliki akar nafas yang berbentuk menonjol ke atas seperti pensil (Kathiresan & Bingham, 2001). Mangrove secara nyata memberikan banyak manfaat bagi makhluk hidup termasuk manusia dengan menjadikan mangrove sebagai sumber mata pencaharian bagi masyarakat pesisir seperti mencari ikan, udang, keong, gurita, kepiting dll. Mangrove juga dimanfaatkan masyarkat sebagai bahan papan yang diambil dari batang, setiap tahun mangrove mengalami penurunan akibat dari penggunaan mangrove yang berlebihan tanpa adanya penanaman kembali.

Ekosistem mangrove mengalami kondisi yang tidak stabil akibat tekanan yang diberikan manusia yang mengakibatkan fungsi mangrove berkurang (Duke et al., 2007; Friess et al., 2019).

Mangrove di temukan memiliki bahan bioaktif yang mampu memberikan manfaat sebagai obat dalam menyembuhkan berbagai penyakit. Manfaat mangrove yang dikelola sebagai obat sudah digunakan oleh masyarakat dari tahun ke tahun namun belum ada bukti p secara ilmiah. Beberapa jenis mangrove yang telah diketahui khasiatnya dalam menyembuhkan penyakit diketahui jenis mangrove yaitu *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia alba*, *Sonneratia ovata*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Rhizophora stylosa*, *Xylocarpus gratanum*, *Nypa fruticans*, *Xylocarpus molucensis* dan *Heritiera littoralis*. Sumberdaya mangrove dalam pengobatan dapat dikelola dalam bidang industri farmasi yang memberikan pengaruh besar bagi lingkungan dalam memberikan manfaat. Mangrove perlu kajian kembali dalam mengetahui jenis – jenis senyawa yang dimiliki dalam batang, daun, akar sehingga mempermudah dalam melakukan berbagai olahan obat yang dimanfaatkan langsung dari tumbuhan mangrove (Kathiresan & Bingham, 2001).

Barbier et al. (2011) yang menyatakan, hutan mangrove memiliki berbagai manfaat dan fungsi yang dibagi menjadi 3 bagian fungsi mangrove yaitu fungsi fisik, fungsi ekonomis dan fungsi ekologis yang akan dijabarkan menjadi :

Fungsi Fisik

Mangrove dapat berfungsi sebagai menjaga pantai dari abrasi yang dipengaruhi oleh gelombang air laut yang besar, menjaga kestabilan sekitar pantai, mangrove dapat mengendalikan intrusi air laut, mangrove dapat mempercepat laju sedimentasi sehingga air laut semakin jernih dan dapat mengakibatkan bertambahnya luasan daratan, mangrove juga dapat memberikan perlindungan dari angin yang kencang dan bencana alam serta mangrove dapat memberikan perlindungan pada daerah belakang mangrove agar tidak terkena gelombang.

Fungsi Ekonomis

Fungsi mangrove ekonomis secara umum sangat banyak yang telah dirasakan manfaatnya oleh masyarakat sekitar. Tumbuhan mangrove pada bagian batang dapat dijadikan kayu yang bisa digunakan dalam pembuatan rumah, sebagai bahan bakar dan dijadikan arang. Arang kayu pada jenis mangrove *Rhizophora mucronata* memiliki nilai kalori sebesar 7.300 kal/g, dan sebagian negara melakukan ekspor pada arang mangrove. Mangrove juga dapat dijadikan bahan panganan dan dapat dijadikan bahan minuman serta mangrove dapat dijadikan obat – obatan dll. Mangrove yang dimanfaatkan dalam bidang industri farmasi dijadikan sebagai obat muntah, obat nyeri dan lain-lain.

Fungsi Ekologis

Hutan mangrove memiliki nilai ekologis yang sangat penting bagi sumberdaya perikanan pantai. Mangrove

pada lingkungan pantai merupakan sumber produktivitas primer tempat berlindungnya biota air dan biota lainnya. Mangrove sebagai tempat bermulanya dimanfaatkan sebagai tempat dalam mencari sumber makanan (*feeding ground*), sebagai tempat berlindung atau tempat berkembang biak (*nursery ground*), sebagai tempat dalam pemijahan (*spawning ground*) dan sangat cocok dimanfaatkan oleh berbagai biota maupun komoditas pantai dalam melangsungkan kehidupannya. Mangrove dalam fungsi ekologis juga dimanfaatkan oleh biota darat seperti burung dan reptil yang menjadikan mangrove sebagai tempat bersarang untuk istirahat dan tempat bermigrasi. Mangrove juga mampu dalam menjaga kestabilan kualitas perairan karena mampu menyerap logam berat berbahaya Cu, Cd dan Pb bagi kehidupan dan mangrove salah satu komponen sebagai penyerap karbon. Penyerapan logam berat yang dilakukan mangrove dengan menggunakan permukaan akar, penyerap logam dipengaruhi oleh luasan permukaan akar dan sistem perakaran. Logam berat bisa berasal dari adanya pembuangan limbah industri yang mampu mengakibatkan pencemaran dan membuat perubahan kualitas perairan (Nagelkerken et al., 2008; Alongi, 2014).

Masyarakat yang telah mengetahui bahwa mangrove memiliki berbagai manfaat dan sangat penting bagi daerah pantai, semakin bertambahnya tahun mangrove semakin menurun dan penggunaan pohon mangrove yang berlebihan. Kondisi mangrove dapat semakin parah akibat penebangan liar mangrove, hutan

mangrove berubah menjadi lahan tambak, berubah menjadi permukiman penduduk untuk membuat rumah dan menjadi perkebunan. Kondisi mangrove yang parah dapat mengakibatkan menurunnya fungsi mangrove dan terjadinya abrasi atau pengikisan pantai dan mampu membuat perubahan garis pantai yang berdampak negatif pada daerah pesisir. Limbah industri yang dibuang secara bebas di perairan juga mampu diserap oleh mangrove karena mikroorganisme yang berada di perairan sangat sulit mendegradasi adanya logam berat sehingga adanya mangrove dapat membuat polutan semakin berkurang (Nagelkerken et al., 2008; Alongi, 2014).

➤ **Penyebab Kerusakan Mangrove**

Hutan mangrove merupakan ekosistem yang berada pada wilayah intertidal, interaksi pada wilayah tersebut terjadi antara perairan laut, payau dan terestrial. Ekosistem ini mempunyai keanekaragaman organisme yang tinggi dimana di dalamnya terjadi interaksi dan asosiasi antar organisme seperti fungi, mikroba, alga, mikro dan makro fauna dan berbagai jenis tumbuhan yang ada di ekosistem ini (Kathiresan & Bingham, 2001; Nagelkerken et al., 2008). Hutan mangrove memiliki struktur yang lebih sederhana jika dibandingkan dengan hutan hujan tropis. Mangrove menyediakan berbagai macam jasa lingkungan seperti menyerap blue karbon, perlindungan badai dan merupakan habitat yang unik bagi beberapa jenis makhluk hidup. Mangrove dengan bentuk dan daya

dukungnya dapat menstabilkan kawasan yang ada di pesisir terutama dalam hal perubahan garis pantai karena faktor lingkungan ataupun bencana seperti tsunami, angin topan, erosi, dan gelombang tinggi. Peran dari mangrove tersebut menjadikannya sebagai aset yang unik dalam menjaga dan melindungi kawasan pesisir. Ekosistem ini juga menyimpan sumberdaya yang unik dan penting bagi manusia, sistem pesisir dan laut. Fungsi dari ekosistem mangrove seperti tempat bersarang, tempat berkembang biak, daerah asuhan, tempat mencari makan dari berbagai spesies laut dan ikan pelagis. Fungsi ekologis sebagai penghasil atau penyedia dari hasil perikanan dan keanekaragaman hayati. Produktivitas yang tinggi dari ekosistem ini sehingga terjadi penyerapan karbon dan menjadikannya sebagai ekosistem yang menyerap karbon terbaik dari ekosistem manapun. Sidimen pada ekosistem mangrove menampung dan menyimpan karbon sebesar 23×10^{12} g C per tahun, sementara carbon yang dilepas pada lautan sebesar 46×10^{12} g C per tahun dimana karbon tersebut 11% dari total karbon yang masuk dari darat ke laut. Ekosistem ini secara ekonomi juga memiliki beberapa fungsi diantaranya adalah sebagai sumber makanan, obat-obatan, dan bahan bangunan dan fungsi sosial budaya bagi masyarakat lokal yang ada disekitarnya (Barbier et al., 2011; Friess et al., 2019). (Primavera & Esteban, 2008; Lewis, 2005).

Peran dan fungsi mangrove yang bermacam-macam oleh pandangan manusia hanya dinilai dan dimanfaatkan dari segi ekonominya saja. Aktivitas penambangan menyebabkan degradasi yang cukup besar, pemanfaatan secara komersial dan destruktif berpotensi akan menghilangkan hutan mangrove. Pemanfaatan ekosistem pesisir sebagai kawasan penting dengan terbuka (open access) menyebabkan eksploitasi yang dilakukan secara berlebihan. Khususnya pada hutan mangrove. Eksploitasi yang berlebihan akan berdampak langsung terhadap masyarakat seperti hilangnya sumber pendapatan. Indonesia memiliki luas hutan mangrove terbesar secara global, akan tetapi juga tingkat deforestasinya yang sangat tinggi, terutama pada hutan yang berada pada pesisir utara Jawa. Khusus untuk Pulau Jawa sendiri sudah kehilangan hutan mangrovenya dengan presentase sebesar 75% dari tahun 1800 dengan perkiraan luas hutan mangrove 173.000 ha kemudian menjadi 45.000 ha pada tahun 2012 (Barbier et al., 2011; Friess et al., 2019).

Giri et al. (2011) dan Thomas et al. (2017), luas hutan mangrove Indonesia 4,9 juta ha dengan presentase 59,8% dari luas total hutan bakau di Asia Tenggara dan sekaligus terluas. Ekosistem mangrove yang dimiliki Indonesia juga merupakan yang terluas secara global dengan keanekaragaman jenis yang tertinggi, namun dalam 10 tahun terakhir pada tahun 1990 sampai 2000 menurun sekitar 17%, melalui data Kementerian Lingkungan dan Kehutanan pada 14 Maret 2017. Tahun 2015 Indonesia

memiliki hutan mangrove dengan luas 3.489.140,68 ha, luas ini setara dengan 23% ekosistem mangrove dunia dengan keseluruhan luas 16.530.000 ha. Ekosistem mangrove Indonesia terdiri dalam kategori kondisi baik dengan luas 1.671.140,75 ha, sedangkan seluas 1.817.999,93 ha dalam kondisi rusak, dan pada tahun 2013 terdapat 422.263 ha hutan bakau diubah menjadi perkebunan kelapa sawit (Giri et al., 2011; Thomas et al., 2017).

Thomas et al. (2017), luas hutan mangrove Indonesia mengalami penurunan dari 42.000 km² hingga kurang dari 31.100 km². Deforestasi atau degradasi hutan di Indonesia disebabkan oleh intervensi manusia dan atau dengan tujuan komersial seperti pertanian, budidaya, pariwisata, pengembangan pesisir dan tujuan lainnya (Thomas et al., 2017). Valiela et al. (2001), Duke et al. (2007), dan Thomas et al. (2017), ancaman utama mangrove adalah adanya alih fungsi lahan seperti perluasan budidaya dan pertanian, pemotongan mangrove sebagai bahan kayu, bahan bakar dan arang, polusi dari berbagai sumber, bencana alam, pembangunan yang mengurangi aliran air tawar dan air pasang, spesies yang bersifat invasif, dan perubahan iklim.

Alih Fungsi Lahan oleh Budidaya dan Pertanian

Hutan bakau yang ada di India rusak karena ekspansi pertanian dan budidaya, contoh kasus di Bangladesh, India hutan mangrove seluas 150.000 ha mangrove dirusak dalam kurun waktu 100 tahun terakhir. Mangrove

dihancurkan dan direklamasi untuk pertanian seperti bercocok tanam padi dan kelapa. Budidaya pada ekosistem mangrove memberikan tekanan terhadap regenerasi dan kelangsungan hidup dari bibit mangrove dan kadang kala untuk membuka lahan budidaya masyarakat memotong mangrove untuk membuka lahan untuk kegiatan budidaya.

Penebangan Mangrove untuk Kayu, Bahan Bakar dan Arang

Kayu yang berasal dari pohon mangrove cocok untuk digunakan sebagai industri kertas dan pembuatan papan chip. Kayu mangrove dengan nilai industrinya maka terjadilah pemotongan dan pengundulan hutan mangrove untuk keperluan Industri tersebut.

Polusi

Pembuangan limbah padat ataupun limbah cair yang berasal dari berbagai sumber dapat mengganggu kelangsungan hidup dan pertumbuhan dari mangrove. Polusi yang beraneka ragam biasanya berasal dari kota-kota besar seperti di kota Mumbai dan kota Kolkata, India.

Bencana Alam

Bencana alam seperti siklon tropis, badai dan tsunami telah merusak kawasan mangrove yang ada di negara India. Kasus yang pernah terjadi pada tahun 1999 topan menghancurkan hutan mangrove di Pantai Odisha, India yang mengakibatkan berkurangnya luas hutan mangrove dari 30.766 ha menjadi 17.900 ha. Kasus selanjutnya

adalah tsunami yang terjadi pada tahun 2004 mengakibatkan kerusakan hutan bakau yang luas di daerah pantai selatan India, kepulauan Andaman dan Nicobar.

Aliran Air Tawar dan Air Pasang yang Terganggu

Mangrove tumbuh dengan baik pada daerah-daerah dengan jumlah aliran air yang stabil dan bagus antara air tawar dan air laut. Pembangunan bendungan, brikade dan tanggul pada bagian atas dan muara sungai dapat mengurangi stok air tawar yang mengalir. Pengurangan air tawar menyebabkan meningkatnya salinitas karena aktivitas pasang surut pada ekosistem mangrove yang menyebabkan perkecambahan, pertumbuhan dan regenerasi mangrove yang buruk.

Spesies Invasif

Spesies invasif dapat mengganggu keseimbangan ekologi dan dinamika ekosistem mangrove. Kasus di Tamil Nadu dan Andhra Pradesh invasif yang cepat oleh spesies *Prosopis* dan contoh kasus selanjutnya adalah di Sundarbans koloni yang terbentuk dari *twinner Derris trifoliata* dan *Eichhornia crassipes* serta *salvinia* merupakan spesies invasif yang dapat mempengaruhi flora alami dari ekosistem mangrove.

Perubahan Iklim

Perubahan iklim merupakan salah satu masalah lingkungan yang berdampak besar pada ekosistem mangrove. Masalah ini menyebabkan peningkatan suhu,

kenaikan permukaan laut dan peningkatan frekuensi badai tropis. Kenaikan dari permukaan air laut mengakibatkan mangrove megarah pada ruang yang ada di darat dan perambahan oleh manusia mencegah hal tersebut akibatnya lebar mangrove berkurang. Dampak dan konsekuensi dari naiknya permukaan air laut menyebabkan sebagian pohon mangrove tenggelam.

Giri et al. (2011) dan Thomas et al. (2017) hutan bakau Indonesia merupakan yang paling besar, yaitu 22,6% dengan luas 4,2 juta ha pada tahun 1980 dari total kawasan bakau dunia dan menjadi hanya 3,1 juta ha pada tahun 2011. Hutan mangrove secara ekologi dan penting secara ekonomi diantara ekosistem tropis yang kaya dengan karbon. Hutan bakau memiliki peran penting dalam memainkan siklus karbon dalam lingkaran biogeokimia dan regulasi iklim serta dapat bermanfaat dalam mengurangi gas rumah kaca dan dan menstabilkan emisi CO₂ akibat aktivitas antropogenik. Kegiatan antropogenik dengan cepat mengkonversi kawasan hutan mangrove menjadi budidaya, penanaman kelapa sawit, penambalan dan pemanfaatan bakau untuk pembangunan perkotaan. Indonesia mendeklarasikan dengan berkomitmen untuk mengurangi emisi sebesar 26-41% pada tahun 2020, dan sebanyak 50% pengurangan emisi berasal dari *land use, land use change and forestry sector* (LULUCF).

Penerapan pengurangan emisi dari sektor lahan diterapkan di Provinsi dan Kabupaten melalui rencana aksi regional untuk pengurangan emisi gas rumah kaca atau rencana aksi daerah penurunan gas rumah kaca (RAD GRK). Mencegah potensi kehilangan mangrove dapat mengurangi emisi global dengan biaya kurang dari sekitar US\$10 per ton CO₂; hal ini menunjukkan bahwa perlindungan mangrove sebagai penyimpan karbon merupakan skema yang layak secara ekonomi. Konteks tersebut mengisyaratkan bahwa Indonesia memainkan peranan penting dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dari mangrove sebagai negara pemilik hutan mangrove terluas di dunia. Rehabilitasi dan restorasi ekosistem mangrove yang rusak menuju kondisi aslinya merupakan upaya yang perlu dilakukan saat ini (Donato et al., 2011; Alongi, 2014; Friess et al., 2019).

Perlindungan ekosistem mangrove melalui Undang-Undang nomor 27 tahun 2007 tentang pengelolaan pesisir dan pulau kecil. Pasal 2 berbunyi “Regulasi ruang lingkup pesisir dan pulau-pulau kecil meliputi transisi antara terestrial dan ekosistem laut yang yang dipengaruhi oleh perubahan di darat dan laut, hingga daratan yang meliputi wilayah administratif kecamatan menuju laut sejauh 12 (dua belas) mil laut yang diukur dari garis pantai”. Pasal 5 berbunyi “Pengelolaan pesisir dan pulau kecil meliputi kegiatan perencanaan, pemanfaatan, pengawasan dan pengendalian interaksi manusia dalam memanfaatkan pesisir dan sumber daya pulau-pulau kecil dan proses alami berkelanjutan cara upaya untuk

meningkatkan kesejahteraan dari komunitas dan memelihara integritas Persatuan Republik Indonesia”. Pasal 5 dalam implimentasinya adalah dengan mengintegrasikan kegiatan antara pemerintan dan pemerintah daerah, antar pemerintah daerah, antar sektor, antar pemerintah, bisnis, dan masyarakat, antara ekosistem darat, dan ekosistem laut di antaranya ilmu pengetahuan dan manajemen (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2007).

➤ **Faktor Lingkungan**

Faktor lingkungan yang mempengaruhi kehidupan tumbuhan mangrove di suatu lokasi dapat di uraikan sebagai berikut: (Lewis, 2005).

Faktor Fisiografi Pantai

Faktor fisiorafi pantai merupakan salah satu faktor lingkungan dengan keadaan pantai kemiringan, landai atau terjal. Fisiografi pantai dapat mempengaruhi komposisi, distribusi spesies dan lebar hutan mangrove. Pantai yang landai memiliki komposisi ekosistem yang beragam jika dibandingkan dengan pantai yang terjal karena kebutuhan nutrisi merata pada pantai yang landai sedangkan pada pantai yang terjal memiliki persebaran mangrove yang sedikit karena kontur pantai yang menyulitkan tumbuhan mangrove untuk tumbuh dan berkembang.

Pasang Air Laut

Pasang air laut yang terjadi di kawasan zonasi pantai sangat menentukan zonasi tumbuhan mangrove dan komunitas hewan yang berasosiasi dengan tumbuhan mangrove. Lama pasang air laut di kawasan hutan mangrove dapat mempengaruhi salinitas air dimana salinitas akan meningkat pada saat pasang dan akan menurun pada saat surut. Perubahan salinitas yang terjadi merupakan faktor pembatas yang mempengaruhi distribusi tumbuhan mangrove secara horizontal dan perpindahan masa air antara air laut dan air tawar mempengaruhi distribusi secara vertikal organisme.

Struktur dan kesuburan mangrove di suatu kawasan yang memiliki jenis pasang diurnal, semi diurnal, dan campuran akan berbeda. Komposisi spesies dan distribusi areal yang berbeda menurut durasi pasang atau frekuensi penggenangan. Rentan pasang akan mempengaruhi pertumbuhan dan penyesuaian tumbuhan mangrove pada lingkungannya daerah yang memiliki pasang yang tinggi akan membuat tumbuhan mangrove mempunyai akar tunjang yang tinggi juga pada jenis *R. mucronata* pada jenis mangrove *Sonneratia* sp. akan tumbuh kuat dan panjang pada lokasi yang memiliki pasang tinggi.

Gelombang dan Arus

Gelombang dan arus dapat merubah struktur dan fungsi ekosistem mangrove. Pada lokasi yang memiliki gelombang dan arus yang cukup besar sering terjadi abrasi yang membuat penurunan luasan hutan mangrove. Gelombang dan arus juga berperan dalam membantu

distribusi spesies mangrove misalnya buah atau semi dari tumbuhan mangrove yang terbawa gelombang dan arus yang kemudian menancap pada substrat yang tepat kemudian tumbuh menjadi anakan mangrove. Gelombang dan arus berpengaruh tidak langsung terhadap sedimentasi pantai dan pembentukan padatan-padatan pasir di muara sungai. Terjadinya sedimentasi dan padatan-padatan pasir ini merupakan substrat yang baik untuk menunjang tumbuhnya tumbuhan mangrove dan menyediakan kawasan yang mempunyai nutrisi yang tinggi di kawasan tersebut. Gelombang dan arus mempengaruhi daya tahan organisme akuatik melalui transportasi nutrisi-nutrisi penting dari kawasan zona mangrove menuju ke daerah laut. Nutrisi yang berasal dari dekomposisi serasah mangrove maupun dari run off daratan yang terjebak di hutan mangrove akan terbawa oleh gelombang dan arus menuju laut.

Iklim

Iklim secara langsung mempengaruhi perkembangan tumbuhan dan perubahan faktor fisik (substrat dan air). Pengaruh iklim terhadap mangrove melalui cahaya, curah hujan, suhu dan angin. Cahaya berpengaruh terhadap proses fotosintesis, respirasi, fisiologi, dan struktur fisik mangrove. Intensitas, kualitas dan lama pencahayaan mempengaruhi pertumbuhan mangrove. Laju pertumbuhan tahunan mangrove yang berada di bawah naungan sinar matahari lebih kecil dan sedangkan laju kematiannya adalah sebaliknya. Cahaya berpengaruh terhadap perbungaan dan germinasi dimana tumbuhan

yang berada diluar kelompok akan menghasilkan lebih banyak bunga karena mendapatkan sinar matahari yang lebih banyak daripada tumbuhan yang berada dibawah gerombol. Curah hujan berpengaruh seperti jumlah, lama dan distribusi hujan mempengaruhi kondisi udara, suhu air, salinitas air dan tanah. Suhu berperan penting dalam proses fisiologis. Angin mempengaruhi terjadinya gelombang dan arus. Angin merupakan agen polinasi dan desinasi biji sehingga membantu terjadinya proses reproduksi tumbuhan mangrove.

Salinitas

Salinitas merupakan salah satu parameter lingkungan yang dapat mempengaruhi proses biologi dan secara langsung akan mempengaruhi kehidupan organisme antara lain yaitu mempengaruhi laju pertumbuhan, jumlah makanan yang dikonsumsi, nilai konversi makanan dan daya sintasan (Kathiresan & Bingham, 2001). Nilai salinitas optimum yang dibutuhkan oleh tumbuhan mangrove untuk pertumbuhannya yaitu berkisar antara 10-30 ppt. Salinitas secara langsung dapat mempengaruhi proses laju pertumbuhan dan zonasi pada mangrove. Nilai salinitas air akan mengalami peningkatan jika pada waktu siang hari, saat cuaca dalam keadaan panas dan perairan dalam keadaan pasang. Nilai salinitas pada tanah lebih rendah dibandingkan dengan nilai salinitas air.

Bahan Organik

Tingginya bahan organik terutama pada kerapatan mangrove dewasa yang tinggi disebabkan oleh banyaknya serasah yang dihasilkan oleh bagian-bagian mangrove terutama pada dedaunan yang jatuh ke sedimen. Banyaknya serasah dapat berpotensi untuk menjadi humus yang tentunya berguna baik bagi perkembangan semaian maupun mangrove dewasa. Selain dengan kadar BOT yang tinggi, mangrove dengan kerapatan yang tinggi dapat dicirikan dengan kandungan oksigen terlarut air interstisial yang tinggi. Mangrove mempunyai cara tersendiri untuk merespon oksigen yang rendah pada kondisi lingkungannya, yaitu melalui bentuk akarnya yang khas untuk memperoleh oksigen.

Suhu

Laju asimilasi pada daun mangrove dan konduktansi stomata yang maksimal berkisar pada suhu antara 25-30°C dan akan mengalami penurunan yang cepat pada suhu diatas 35°C. Untuk jenis mangrove *Rizophora* proses fotosintesis paling cepat pada suhu 25°C. Selain akan mempengaruhi proses fisiologi tumbuhan mangrove, suhu perairan juga dapat mempengaruhi kegiatan hewan air seperti migrasi, pemangsaan, kecepatan berenang, perkembangan embrio, dan kecepatan proses metabolisme. Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi tingginya suhu, antara lain yaitu intensitas sinar matahari yang secara langsung jika kawasan mangrove terbuka, dikarenakan jarak antar pohon lebar.

➤ **Pengelolaan Ekosistem Mangrove**

Mangrove merupakan tumbuhan tersebar di daerah yang terendam oleh pasang surut yang dan mampu mentoleransi adanya kadar garam pada air laut. Mangrove dapat tumbuh pada substrat tanah berlumpur maupun berpasir dan mangrove tersebar luas di seluruh dunia termasuk Indonesia yang memiliki beranekaragam jenis spesies mangrove. Peran mangrove untuk kehidupan sangat membantu dalam kegiatan masyarakat mulai dari segi ekonomi, dari ekologi, fisik maupun budaya. Manfaat yang diberikan oleh mangrove untuk makhluk hidup salah satunya manusia yang memanfaatkan mangrove dalam ekonomi, namun semakin lama mnagrove mengalami kondisi yang sangat kritis karena penggunaan yang secara berlebihan tanpa melihat kondisi mangrove. Kerusakan mangrove juga mampu memberikan dampak yang besar bagi makhluk hidup karena semakin menipisnya ekosistem mangrove seperti biota laut akan kehilangan tempat untuk berlindung maupun berkembang biak dan mencari makanan. Kondisi mangrove perlu diperhatikan dengan melakukan perubahan pola pikir atau persepsi dan sikap terhadap lingkungan (Lewis & Brown, 2014; Kairo et al., 2001; Barbier et al., 2011).

Kerusakan mangrove dapat terjadi karena ada beberapa faktor mulai dari aktivitas atau kegiatan manusia yang melakukan penebangan pohon secara liar dalam memproduksi bahan bangunan, kayu bakar, perubahan lahan mangrove menjadi lahan tambak,

memproduksi arang dan faktor lainnya bisa karena adanya faktor alam seperti banjir, tsunami, longsor maupun kejadian alam lainnya. Perbaikan kondisi mangrove dapat dilakukan dengan startegi pengelolaan ekosistem mangrove dengan dukungan masyarakat sekitar dan pemerintah. Metode awal yang perlu dilakukan dengan melihat tingkat kondisi kerusakan pada ekosistem mangrove sehingga dapat dilakukan pengelolaan secara benar dan tepat. Strategi dalam pengelolaan mangrove dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain, yakni melakukan kegiatan pelatihan dalam mengembangkan keterampilan untuk pengelolaan mangrove seperti melakukan kegiatan menanam bibit mangrove sehingga mampu memberikan peningkatan ekonomi bagi masyarakat, melakukan kegiatan penyelenggaraan dalam mengontrol keadaan mangrove sehingga tidak terjadi pemanfaatan yang berlebihan. Kegiatan – kegiatan yang telah direncanakan perlu adanya dukungan dari masyarakat dan pemerintah. Dukungan yang diberikan pemerintah dengan cara pengawasan serta pendanaan dalam kegiatan pengelolaan ekosistem mangrove. Kegiatan dalam menambah wawasan untuk masyarakat dapat dilakukan dengan cara bimbingan dengan pihak dalam pengembangan kawasan mangrove dan pelestarian lingkungan (Kairo et al., 2001; Bosire et al., 2008).

Pengelolaan ekosistem mangrove perlu dilakukan secara terpadu untuk mempersiapkan kegiatan untuk pengelolaan dan merencanakan dalam perlindungan serta

pengembangan sumberdaya mangrove secara baik sehingga dapat menjadi pengelolaan ekosistem mangrove yang berkelanjutan. hal yang perlu dipertimbangkan atau persyaratan dalam pengelolaan dengan melihat kondisi mangrove yang rusak, mengetahui kondisi kedalaman pesisir yang mampu dijadikan penanaman mangrove kembali, dan melihat kondisi terjadinya abrasi yang tinggi untuk menghindari terjadinya kegagalan serta melihat lahan yang cocok untuk dijadikan sebagai kawasan hijau mangrove sehingga mangrove lebih terlindungi. Pengelolaan ekosistem mangrove dapat dilakukan dengan berbasis masyarakat yakni dengan melakukan pengelompokan dalam kegiatan mangrove yang bertujuan meminimalisir kerusakan pada ekosistem mangrove. Keterlibatan masyarakat dalam kegiatan konservasi mangrove merupakan salah satu keberhasilan untuk melakukan pemulihan ekosistem mangrove dan keberhasilan dalam kegiatan pengelolaan ekosistem mangrove juga menjadi sistem penyangga untuk kehidupan. Menjaga mangrove agar stabil akan menjadikan keberlanjutan sehingga dapat dijadikan sebagai mata pencaharian oleh masyarakat dengan mempertahankan atau melindungi kualitas mangrove (Martuti et al., 2018).

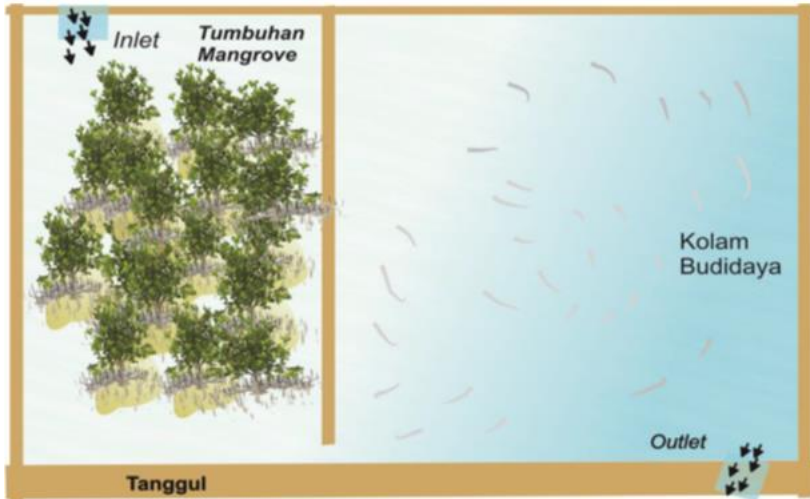
Kairo et al. (2001) dan Bosire et al. (2008 dalam proses kegiatan pengelolaan ekosistem mangrove masyarakat harus terlibat untuk merencanakan, mengelola serta memonitor setiap kegiatan rehabilitasi ekosistem mangrove. Kurangnya pengetahuan dan kesadaran

masyarakat ini yang perlu dibenahi sehingga kegiatan pengelolaan dapat berhasil dengan memberikan wawasan dalam pengelolaan sumberdaya yang dimiliki mangrove. Masyarakat lokal sangat erat dengan hubungan ekosistem mangrove karena mangrove memberikan dampak positif bagi masyarakat salah satunya aspek ekonomi sehingga masyarakat perlu membantu dalam meningkatkan kerjasama untuk melestarikan ekosistem mangrove. Pembelajaran awal dalam berbasis masyarakat yaitu dengan melakukan pengenalan mengenai ekosistem mangrove dan memberikan perubahan sikap, serta melibatkan masyarakat dalam perencanaan hingga pelestarian mangrove. Pelaksanaan pengelolaan ekosistem mangrove perlu melibatkan pihak – pihak yang terkait seperti masyarakat lokal, masyarakat luar, pihak pelestarian lingkungan, pemerintah, dan Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM). Tahapan dalam pelaksanaan pengelolaan ekosistem mangrove yakni tahap perencanaan, tahap pelaksanaan, tahap pemeliharaan, dan tahap pengawasan atau pelestarian. Tahap perencanaan adalah tahapan yang memberikan wadah dalam menyampaikan aspirasi tentang kondisi lingkungan ekosistem mangrove dengan membentuk kelompok kerjasama. Tahap pelaksanaan adalah tahap melakukan penyediaan bibit mangrove untuk melakukan kegiatan penanaman mangrove. Pemerintah dalam tahap pelaksanaan bertindak sebagai fasilitator dalam berupa dana untuk pembelian bibit mangrove, biaya pemeliharaan serta menyediakan kebutuhan yang akan

diperlukan bagi kegiatan rehabilitasi mangrove dan masyarakat akan menentukan lokasi yang cocok untuk melakukan penanaman. Tahap pemeliharaan adalah tahap ketika mangrove yang telah ditanam kemudian terjadi berbagai kendala seperti terbawa arus laut dan munculnya hama pada anakan mangrove, masyarakat akan berpartisipasi dalam penanaman kembali sehingga mangrove dapat tumbuh dan peran pemerintah sebagai penyedia dana pemeliharaan. Tahap pengawasan atau pelestarian adalah memberikan sanksi terhadap oknum – oknum yang sengaja dalam merusak mangrove yang telah di tanam dan pemerintah harus bersikap adil dan terlibat dalam pengawasan kegiatan rehabilitasi mangrove. Pemberian sanksi atau denda berlaku untuk semua yang berniat merusak atau merombak untuk dijadikan lahan tambak, maupun hal – hal yang dapat merusak mangrove sesuai dengan undang – undang yang berlaku.

Pengelolaan ekosistem mangrove dapat berbasis wanamina adalah bentuk pengelolaan mangrove dengan kolam budidaya ikan yang merupakan strategi baru dalam pengembangan lingkungan sehingga terciptanya keseimbangan antara adanya perlindungan kualitas mangrove dan peningkatan ekonomi bagi masyarakat. Pengelolaan mangrove berbasis wanamina dapat dilakukan sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan yakni Undang – Undang Nomor 32 Tahun 2009 Pasal 1 ayat 2. Konsep dalam pengelolaan berbasis wanamina adalah terdiri dari 2 yakni kawasan penanaman mangrove dengan pemisahan kolam tambak ikan, hal ini dilakukan

untuk menghindari terjadi masuknya logam berat ke dalam lingkungan. Kegiatan pengelolaan berbasis wanamina memerlukan keterlibatan pihak masyarakat, petani tambak, pembina pelestarian lingkungan dan dukungan pemerintah. Tahap awal yang perlu dilakukan dengan sosialisasi dan serta pembina untuk petani tambak agar memahami konsep wanamina dan melakukan kegiatan penanaman bersama pihak pemerintah. Konsep wanamina sangat bermanfaat bagi masyarakat karena mampu memberikan peningkatan dalam ekonomi maupun sosial dan dapat dijadikan secara berkelanjutan. Konsep wanamina dapat dilakukan sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan yakni Budidaya ikan dengan sistem wanamina sesuai dengan pasal 3 UU Nomor 5 Tahun 1990 Tentang Konservasi Sumberdaya Alam Hayati Dan Ekosistemnya. Keuntungan yang diberikan oleh konsep wanamina yaitu memberikan peran mangrove sebagai fitoremediasi yang tidak mengganggu keberlangsungan tambak budidaya ikan dan fungsi mangrove sebagai filter atau penyaring logam maupun polusi alam sehingga kualitas air dapat terjaga dari pencemaran lingkungan. Keberhasilan dalam konsep wanamina akan meningkatkan kerapatan mangrove sehingga mangrove dapat melaksanakan perannya dengan maksimal dan memberikan manfaat bagi masyarakat yang untuk meningkatkan ekonomi (Martuti et al., 2018).



Gambar 25. Tambak Wanamina dengan Model Mangrove Terpisah dengan Kolam Budidaya Ikan (Martuti et al., 2018).

➤ Rehabilitasi Ekosistem Mangrove

Rehabilitasi merupakan suatu kegiatan atau proses yang dapat membantu para penderita yang mempunyai penyakit atau kerusakan yang membutuhkan pengobatan atau perbaikan supaya tercapai kemampuan fisik psikologis dan sosial yang maksimal. Rehabilitasi hutan mangrove merupakan bagian dari upaya mengembalikan fungsi dari hutan mangrove yang telah mengalami penurunan pada kondisi yang telah dianggap baik-baik saja serta mampu mengembangkan fungsi ekologis dan ekonomis. Tujuan dari adanya rehabilitasi hutan mangrove tersebut adalah supaya dapat memulihkan dan meningkatkan fungsi perlindungan, fungsi pelestarian,

fungsi produksi, serta memperbaiki kualitas tegakan yang sebelumnya telah mengalami kerusakan dan mempertahankan tegakan tersebut. Peristiwa ini dilakukan karena agar fungsi hutan tetap terjaga baik sebagai penjaga intrusi air laut, penghasil kayu-kayuan, dan lain lain sebagainya (Bosire et al., 2008; Lewis & Brown, 2014). (Lewis, 2005; Lewis & Brown, 2014; Primavera & Esteban, 2008).

Kairo et al. (2001) dan Bosire et al. (2008) rehabilitasi hutan mangrove merupakan salah satu sistem pengelolaan hutan mangrove yang tergolong dalam bagian integral dari pengelolaan kawasan pesisir. Dalam penyelenggaraan rehabilitasi hutan mangrove ini ditujukan untuk dapat memulihkan sumberdaya hutan yang telah mengalami kerusakan, sehingga hutan mangrove tetap dapat berfungsi yang optimal dengan memberikan manfaat kepada masyarakat sekitar. Kegiatan rehabilitasi mangrove ini telah dilakukan untuk memulihkan kondisi ekosistem mangrove yang telah mengalami kerusakan, supaya ekosistem mangrove dapat melaksanakan lagi fungsinya dengan baik dan benar. Upaya dalam melakukan rehabilitasi ekosistem mangrove ini harus menyertakan keseluruhan masyarakat sekitar yang berhubungan dengan kawasan mangrove tersebut.

Martuti et al. (2018) ekosistem mangrove mempunyai bentuk dan sifat yang bermacam-macam bagi kelangsungan hidup manusia, tumbuhan serta hewan. Hal tersebut menandakan bahwa ekosistem mangrove termasuk salah satu ekosistem pendukung

kehidupan yang sangat penting dan perlu diperhatikan suatu kelestariannya supaya tetap terjaga dan dapat memanfaatkan fungsi dari ekosistem mangrove. Hutan mangrove atau dapat disebut juga dengan sebutan hutan bakau ini berfungsi sebagai penyangga tanah pantai dari adanya pengaruh ombak serta lumpur yang telah meluap tersebut terlindungi, dan sebagai pelindung bagi tempat tinggal masyarakat dari adanya angin laut yang sangat kencang. Fungsi umum dari adanya hutan mangrove atau hutan bakau tersebut yaitu dapat menyediakan makanan dari flora dan fauna yang nantinya akan dapat menunjang berkembangnya sumber daya kelautan dan perikanan.

Lewis dan Brown (2014) melakukan rehabilitasi mangrove di Pantai Alo dengan menggunakan rancangan acak lengkap dengan 6 perlakuan seperti K1 sampai K6 dengan membutuhkan propagule sebanyak 100 buah. Prosedur pertama yang dilakukan mengumpulkan propagul dan dilakukan penanaman propagule yang sudah memiliki kotiledon berwarna kuning sehingga tidak mengalami banyak gangguan hama. Pemilihan lokasi penanaman memilih area yang mampu menahan keberlangsungan hidup mangrove seperti substrat yang berlumpur, memiliki daerah kecepatan arus yang tenang dan pasang surut. Bahan yang digunakan dalam rehabilitasi mangrove yaitu propagule, tali, bamboo, pita penanda sedangkan alat yang digunakan yaitu gergaji, parang, palu dan meteran. Penanaman mangrove dilakukan dengan 6 perlakuan yang berbeda yakni pertama dilakukan dengan menanam mangrove dengan

formasi 1 – 4 (K1). Formasi menanam propagul dengan membentuk segi empat kemudian 1 propagul diletakan 1 ditengah kemudian propagule diikat dengan membentuk satu titik sehingga tidak mengalami perubahan ketika terhempas oleh gelombang. Penanaman dilakukan sehingga membentuk 20 titik tanaman dan jarak titik tanaman 30 x 30 cm.



Gambar 26. K1 = Penanaman dengan Formasi 1–4

Penanaman mangrove yang kedua dengan menggunakan bambu dengan membentuk kerucut (K2). Bambu dipotong menjadi 2 dengan memiliki panjang 80 cm dan pada setiap belahan bambu ditanam sampai pada kedalaman 30 cm dengan membentuk kerucut dan menanam 7 buah propagul dan ditanam di dalam kerucut bamboo. Penanaman progaul pada bamboo berbentuk kerucut sebanyak 14 titik tanam.



Gambar 27. K2 = Bambu Kerucut

Penanaman mangrove yang ketiga dengan menggunakan bamboo dengan diberi nama bamboo batang (K3) pada ruas bamboo diberi lubang dan diruncingkan pada salah satu bagian sisi bamboo sehingga pada bagian yang runcing dapat ditanam kedalam lumpur dan propagul dimasukkan kedalam batang bamboo. Penanaman ini dilakukan sebanyak 5 batang propagule dan menggunakan 20 titik tanam propagule.



Gambar 28. K3 = Bambu Batang

Penanaman mangrove yang ke empat masih menggunakan bamboo yang diberi nama bamboo pagar (K4), bamboo diberi potong dengan lebar 3 cm dan dipotong sepanjang 40 cm. Penanaman propagul dengan membentuk angka 2 dengan bamboo ditanam sampai kedalaman 20 cm dengan rapat pada bagian depan tanaman dan dilakukan berulang sebanyak 20 titik tanamna dengan jarak antara titik 1 dengan titik lain 30 cm.



Gambar 29. K4 = Bambu Pagar

Pada penanaman mangrove yang ke lima diberi nama akar napas (K5) yaitu propagul ditanam pada lokasi daerah mangrove yang memiliki akar napas dan pada setiap titik dilakukan penanaman 2 propagul kemudian diikat menyatu dengan akar napas. Penanaman mangrove sebanyak 50 buah propagule dengan jarak 30 cm



Gambar 30. K5 = Akar Napas

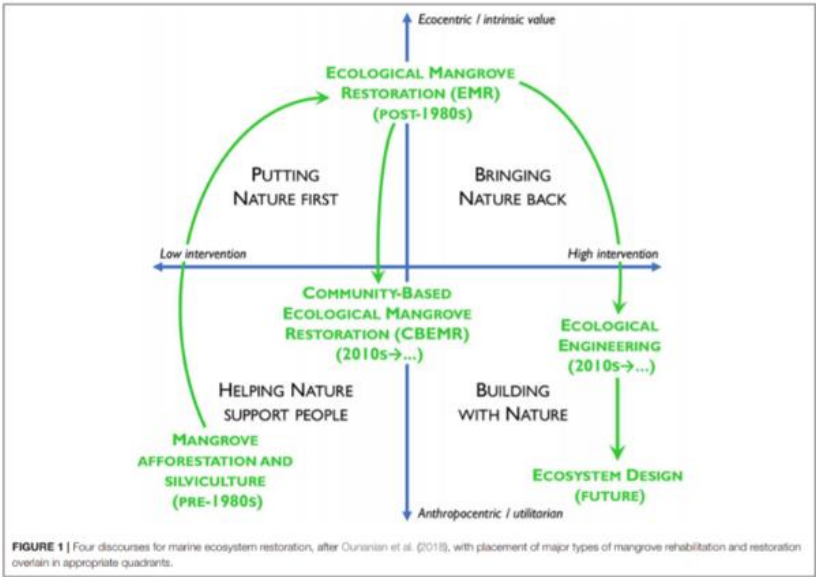
Pada penanaman yang ke enam diberi nama bamboo jepit (K6) bamboo di potong dengan panjang 2 meter kemudian dibelah hingga 40 cm dan lebar 3 cm. penanaman propagule dengan membentuk 2, bamboo dengan ukuran 2 m digunakan sebagai penjepit dan menyambungkan pada beberapa titik tanaman propagule dengan bentuk tegak pada garis pantai dan bamboo dengan ukuran 40 cm sebagai penahan penjepit propagule. Penanaman dilakukan berulang kali dengan sebanyak 50 titik tanam dengan berjarak 30 cm.



Gambar 31. K6 = Bambu Jepit

Ellison et al. (2020), kita hidup di era rehabilitasi dan restorasi ekosistem, restorasi ekologi berkembang pesat dengan tujuan ekosentris. Metode dan pendekatan rehabilitasi dan memulihkan ekosistem pesisir dan laut berkembang secara khusus dengan cepat. Metode pendekatan rehabilitasi dan restorasi mangrove yang dikembangkan dengan mengintegrasikan pada ekosentris dan melioratif. Rehabilitasi dan restorasi mangrove dapat dinilai dari sistem sosial-ekologi sebagai kondisi adaptasi dengan mangrove. Konteks dari fungsinya restorasi dan rehabilitasi dibedakan dalam memulihkan penduduk secara substansial dari fungsi biota dan ekosistem. Rehabilitasi merupakan usaha pemulihan file ekosistem namun tidak mencakup secara keseluruhan yang dihuni spesies asli tetapi hanya untuk memulihkan fungsi

ekosistem yang cukup untuk menyediakan jasa ekosistem yang dan berkelannutan pada tingkatan tertentu. Restorasi merupakan mendeskripsikan kegiatan apapun yang meliputi restorasi sendiri, rehabilitasi dan reklamasi yang memilki tujuan untuk mempromosikakan segala jenis pemulihan ekosistem di lingkungan pesisir dan muara termasuk ekosistem mangrove didalamnya. Restorasi dan rehabilitasi berada pada ujung spektrum yang sama yakni pengelolaan yang mendukung pemulihan ekosistem ari kerusakan, degradasi atau daerah yang hancur.



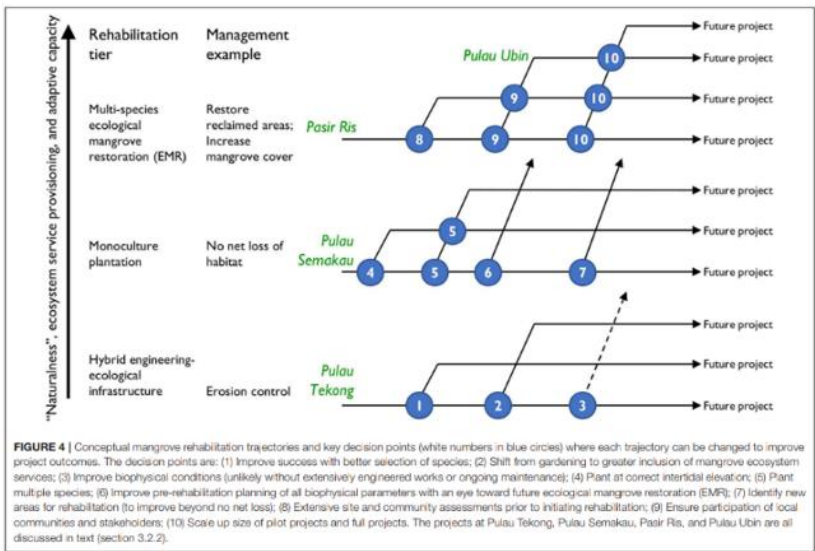
Gambar 32. Empat Wacana Restorasi dan Rehabilitasi Ekosistem Mangrove

Kelas dari rehabilitasi dan metode restorasi meliputi: penanaman mangrove ke dalam struktur pertahanan pantai keras yang direkayasa, perkebunan monokultur, ecological mangrove restoration (EMR) dimana zona intertidal dimanipulasi sehingga kondisi biofisik berada dalam batas yang dapat ditoleransi pembentukan, pertumbuhan dan reproduksi mangrove dan metode tambahannya adalah desain ekosistem mangrove yang mengedepankan orang dan kebutuannya, lalu menggunakan kebutuhan tersebut untuk menentukan rangkaian jasa ekosistem yang akan disertakan ke dalam proyek rehabilitasi.

Rehabilitasi mangrove yang sukses dapat menyebabkan akumulasi biomassa karbon yang cepat dan dalam waktu yang lebih lama dapat meningkatkan stok karbon substrat sebesar 83 menjadi 96 Mg C/ha. Lintasan rehabilitasi mangrove secara konseptual yang dimulai dari pilihan utama dan setiap lintasan dapat diubah untuk meningkatkan proyek.

Brown *et al.* (2014), terdapat empat tantangan dalam upaya rehabilitasi mangrove yang berasal dari masyarakat atau penduduk setempat dan pemangku kepentingan lainnya yang meliputi: 1. Penyelesaian hak penugasan/pemanfaatan lahan, 2. Tantangan untuk normatif, orientasi proyek dan praktek penanaman yang terlalu disederhanakan. 3. Mengembangkan bantuan mata pencaharian berkelanjutan jangka pendek dan sementara masyarakat menunggu pemulihan mangrove. 4. Memastikan perempuan juga ikut andil atau

berpartisipasi dalam proyek berlangsung dengan tujuan kesetaraan.



Gambar 33. Konsep Rehabilitasi Mangrove untuk Meningkatkan Angka Keberhasilan

Proses ecosystem mangrove rehabilitation (EMR) yang dikembangkan oleh R.R. Lewis mencakup enam langkah yaitu:

- Pengkajian ekologi (autekologi dan komunitas dan komunitas asosiasi di hutan referensi dan lokasi rehabilitasi).
- Penilaian hidrologi (di hutan referensi dan situs rehabilitasi)
- Penilaian gangguan
- Resolusi, perencanaan, dan desain kepemilikan tanah
- Implimentasi

f. Pemantauan dan koreksi *Mid-course*.

Sistem dari pola tahapan rehabilitasi tersebut di aplikasikan di Tanakeke, namun dalam prakteknya membutuhkan banyak sub langkah. Proses berikut melibatkan sembilan langkah dengan mempertimbangkan proses evolusi untuk upaya rehabilitasi mangrove dari lokasi rehabilitasi mangrove sebelumnya. Berikut adalah tahapan-tahapannya:

- a. *Rapid assessment*
- b. *Social assessment*
- c. *EMR technical training*
- d. *Baseline surveys*
- e. *Satkeholder meetings and design*
- f. *Implimentation*
- g. *As-Built surveys and monitoring*
- h. *Deelopment of forest management learning groups*
- i. *Mid-course correction*

BAB VI

REHABILITASI EKOSISTEM LAMUN

➤ Pengertian Ekosistem Lamun

Ekosistem lamun adalah ekosistem penting sebagai tempat feeding ground, *nursery* ground, dan spawning ground. Ekosistem lamun berfungsi sebagai penangkap sedimen serta pendaur zat hara (Hemminga & Duarte, 2000; Orth et al., 2006). Ekosistem padang lamun merupakan hamparan lamun yang terletak diantara ekosistem mangrove dan terumbu karang. (Orth et al., 2006).

Padang lamun merupakan ekosistem laut produktif dan bernilai ekonomis. Padang lamun sudah sejak lama diketahui memiliki nilai ekologi dan ekonomi yang sangat penting (Hemminga & Duarte, 2000; Cullen-Unsworth & Unsworth, 2013). Padang lamun membentuk vegetasi tunggal, tersusun atas satu jenis lamun yang tumbuh membentuk padang lebat, sedangkan vegetasi campuran terdiri dari 2-12 jenis lamun yang tumbuh bermasa-masa pada satu substrat (Hemminga & Duarte, 2000). Banyak kegiatan pembangunan di wilayah pesisir telah mengorbankan ekosistem padang lamun, seperti kegiatan reklamasi untuk pembangunan kawasan industri atau pelabuhan (Waycott et al., 2009; Unsworth et al., 2019). Banyak lamun yang rusak akibat ancaman atau gangguan

secara alami maupun aktivitas manusia seperti kerusakan fisik padang lamun disebabkan oleh aktivitas perahu-perahu nelayan yang mengeruhkan perairan dan merusak padang lamun (Waycott et al., 2009; Erftemeijer & Lewis, 2006).

Klasifikasi

Pada system klasifikasi, lamun berada pada sub kelas monocotyledoneae, kelas angiospermae. Dari 4 famili lamun yang diketahui, 2 berada di perairan Indonesia yaitu *hydrocharitaceae* dan *cymodoceae*. Famili *Hydrocharitaceae* dominan merupakan lamun yang tumbuh di air tawar sedangkan 3 famili lain merupakan lamun yang tumbuh di laut. Lamun tidak memiliki stomata, mempertahankan kutikel yang tipis, perkembangan *shrizogenous* pada system lacunar dan keberadaan diafragma pada system lacunar. Hal yang penting dalam reproduksi lamun adalah hidrophilus yakni kemampuannya untuk melakukan polinasi di bawah air.

Habitat

Lamun hidup dapat ditemukan pada daerah mid-interdal sampai kedalaman 0,5-10 m. Habitat lamun dapat dilihat sebagai suatu komunitas. Lamun dapat hidup mulai dari nutrient rendah dan melimpah pada habitat yang tinggi nutrient. Pada umumnya, lamun dianggap sebagai kelompok tumbuhan yang homogen.

➤ Fungsi dan Peranan Lamun

- A. Tempat berlindung sejumlah *specimen* dari *echinothambena* ditemukan pada rizhome lamun. Biota tersebut menggunakan *rhizome* lamun sebagai tempat berlindung. *Specimen isopoda* juga menggunakan lamun sebagai tempat berlindung (Orth et al., 2006; Unsworth et al., 2019). (Orth et al., 2006; Waycott et al., 2009).
- B. Lamun merupakan makanan dari *fauna herbivorous* di perairan laut dalam yang berdekatan dengan daerah padang lamun (Heck et al., 2003; Unsworth et al., 2019).
- C. Fungsi padang lamun
- Hemminga dan Duarte (2000) serta Orth et al. (2006), beberapa fungsi padang lamun yaitu:
- a. Sebagai stabilisator perairan dengan fungsi system perakarannya sebagai perangkat dan penstabil sedimen dasar sehingga perairan menjadi lebih jernih.
 - b. Lamun menjadi sumber makanan langsung berbagai biota laut.
 - c. Lamun sebagai produser primer.
 - d. Komunitas lamun memberikan habitat penting dan perlindungan untuk sejumlah spesies hewan.
 - e. Lamun memegang fungsi utama dalam daur zat hara dan elemen langka di lingkungan laut.

Dalam system rantai makanan pada daun lamun yang berasosiasi dengan alga kecil yang dikenal dengan *periphyton* dan *epiphytic* dari *detritus* yang merupakan sumber makanan terpenting bagi hewan

kecil seperti ikan kecil dan invertebrate kecil contohnya beberapa jenis udang, bivalve, kuda laut, gastropoda, dan *Echinodermata*. Lamun mempunyai hubungan ekologis dengan ikan melalui rantai makanan dari produksi biomasanya (Orth et al., 2006; Heck et al., 2003).

D. Peranan padang lamun

Peranan padang lamun di lingkungan perairan laut dangkal adalah sebagai berikut:

- a. Sebagai produsen primer
- b. Sebagai habitat biota
- c. Sebagai penangkap sedimen
- d. Sebagai pendaur zat hara

E. Pemanfaatan padang lamun

Secara tradisional lamun telah dimanfaatkan untuk :

- a. Dibuat jaring ikan
- b. Dimakan
- c. Mengisi kasur
- d. Tumpukan untuk pematang
- e. Danyam menjadi keranjang
- f. Cerutu dan mainan anak
- g. Kompos dan pupuk

Pada zaman modern lamun telah dimanfaatkan untuk:

- a. Sumber bahan kimia
- b. Obat-obatan
- c. Makanan
- d. Bahan untuk pabrik kertas
- e. Stabilizator pantai
- f. Penyaring limbah

➤ Penyebab Kerusakan Ekosistem Lamun

Lamun merupakan sumber daya pesisir yang rentan terhadap perubahan lingkungan. Penurunan luas vegetasi lamun diseluruh dunia merupakan akibat dari kombinasi tekanan lingkungan yang bersifat alami dan hasil aktivitas manusia. Penurunan luas tutupan lamun secara alami dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu geologi, meteorologi, dan interaksi biologi spesifik, antara lain (Waycott et al., 2009):

- a. Gempa bumi (faktor geologi) dapat menyebabkan peningkatan garis pantai dan paparan vegetasi lamun.
- b. Badai dan angin puting beliung (faktor meteorologi) dapat menyebabkan kerusakan menyeluruh pada vegetasi lamun. Angin badai yang bertepatan dengan gelombang tinggi dan arus kuat dapat menyabut akar lamun dan mengikis permukaan sedimen (Waycott et al., 2009; Grech et al., 2012).

Selain itu, Waycott et al. (2009) dan Grech et al. (2012) penurunan yang terjadi pada padang lamun dapat menjadi bagian dari siklus alam dalam skala waktu beberapa tahun atau dekade. Adapun, penyebab penurunan area lamun tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Eutrofikasi Butrofikasi

Penambahan nutrisi dapat menyebabkan lamun menjadi kalah bersaing dengan (yang bersifat racun terhadap lamun pada konsentrasi tinggi) dapat terbentuk, sehingga akar menjadi mati dan pada akhirnya, seluruh padang lamun mati. Pengayaan

nutrisi dapat juga terjadi secara alami (contohnya di TelukAqaba, Laut Merah), karena air kaya nutrisi terangkat ke atas (up welling) selama musim pengadukan (Burkholder et al., 2007).

b. Pengendapan (Siltation)

Erftemeijer dan Lewis (2006), Partikel terlarut yang terkandung dalam aliran tersebut, menciptakan turbiditas yang dapat mengurangi kejernihan air dan mereduksi ketersediaan cahaya, sehingga menghambat pertumbuhan dan perkembangan lamun di kawasan estuari dan pesisir.

c. Pembebanan sedimen organik

Eutrofikasi pada perairan pesisir bersamaan dengan meningkatnya pemasukan senyawa organik ke dalam sedimen dapat memberikan dampak negatif terhadap lamun. Penurunan lamun juga telah dikaitkan dengan beban senyawa organik lokal pada sedimen yang berhubungan dengan aktivitas akuakultur (Burkholder et al., 2007; Erftemeijer & Lewis, 2006).

d. Bahan kimia beracun

Waycott et al. (2009), beberapa kasus tumpahan minyak di Indonesia yaitu tumpahan minyak mentah dari Pertamina UP VI Balongan di Pantai Indramayu yang merusak terumbu karang tempat pengasuhan ikan-ikan milik masyarakat sekitar, tumpahan minyak mentah dari perusahaan Total E dan P Indonesia, dan meledaknya kapal ikan MY Fu Yuan Fu F66 di Teluk Ambon.

e. Perubahan fisika-kimia lainnya

Pemasukan materi terlarut dan partikel hasil aktivitas manusia ke dalam kolom air, serta sedimen dapat berdampak negatif dan menyebabkan kondisi lingkungan yang tidak sesuai untuk lamun. Perubahan kondisi dinamika tersebut, tidak dapat mendukung pertumbuhan lamun dengan baik (Burkholder et al., 2007; Erftemeijer & Lewis, 2006).

f. Kerusakan mekanis

Praktek penangkapan ikan yang mengganggu sedimen dapat menyebabkan penurunan area penutupan lamun, seperti rusaknya taruk dan rimpang. Penggunaan pukat bahkan dapat merusak lamun secara keseluruhan dengan cara mencabutnya dari sedimen (Waycott et al., 2009; Grech et al., 2012).

g. Invasi oleh jenis eksotis

Invasi lamun dengan jenis eksotis (non-native) yang menyebabkan penurunan lamun dalam skala besar jarang terjadi. Fenomena pertama dicatat di Mediterania tahun 1984, proliferasi alga hijau tropis (*Codium bursa*) diduga berpotensi berbahaya terhadap padang lamun. Invasi ini kemungkinan dapat terjadi, karena organisme non-native terbawa oleh air pada lambung kapal dari satu tempat ke tempat lain (Waycott et al., 2009; Grech et al., 2012).

h. Pemanasan global

Potensi ancaman terhadap lamun dapat muncul secara tidak langsung dari proses kenaikan permukaan air laut, perubahan sistem pasang surut, penurunan

salinitas lokal, kerusakan akibat radiasi sinar ultraviolet, serta dampak perubahan distribusi dan intensitas kejadian ekstrim yang tidak terduga, yang merupakan akibat dari perubahan iklim(Waycott et al., 2009; Grech et al., 2012).

➤ Tujuan Rehabilitasi Ekosistem Lamun

Ekosistem padang lamun merupakan salah satu ekosistem pesisir dan laut yang dimana pastinya disana ditumbuhi oleh lamun (*seagrass*) sebagai vegetasi yang hidup mendominasi serta mampu hidup dan tumbuh dibawah permukaan laut. Ekosistem lamun ini bukan merupakan entitas yang terisolasi namun berinteraksi dengan ekosistem lain di sekitarnya. Contoh interaksi yang terpenting adalah interaksi antara ekosistem padang lamun ini dengan ekosistem terumbu karang dan mangrove. Dari ketiga ekosistem ini membuat lingkungan di sekitar wilayah pesisir dan laut menjadi relatif sangat subur dan produktif. Ketiga ekosistem ini memiliki peran masing-masing yang sangat bermanfaat bagi lingkungan alam sekitar. Ekosistem lamun sendiri juga memiliki peranan yang sangat penting bagi lingkungan perairan di wilayah pesisir baik dari segi ekologis maupun biologis. Ekosistem ini menjadi produsen dan menyediakan makanan bagi biota laut disekitarnya seperti penyu, dugong dan lain-lain. Selain itu, ekosistem ini juga berperan penting menjaga stabilitas sedimen dasar laut untuk mencegah abrasi akibat arus dan gelombang laut juga padang lamun memiliki kemampuan filtrasi yang

sangat bagus dan secara efisien dapat menjaga ekosistem terumbu karang dari masuknya sedimen ke arah laut. Distribusi lamun juga sangat luas, dari daerah perairan dangkal Selandia Baru sampai Afrika, dan dari 12 genera yang dikenal, 7 genera diantaranya tersebar di wilayah tropis dan diversitas tertinggi berada pada daerah Indo Pasifik Barat (Waycott et al., 2009; Unsworth et al., 2019). (van Katwijk et al., 2016; UNEP & Nairobi Convention, 2020).

Padang lamun merupakan hamparan lamun yang didalamnya terbentuk hanya satu jenis lamun atau disebut vegetasi tunggal dan atau lebih dari satu jenis lamun atau disebut vegetasi campuran. Lamun memiliki perbedaan yang cukup nyata dibandingkan dengan tumbuhan laut lainnya seperti makroalga atau rumput laut. Lamun memiliki bunga dan buah yang kemudian berkembang menjadi benih. Pertumbuhan lamun sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor internal dan eksternal seperti kondisi fisiologis dan metabolisme (faktor internal) dan tingkat kesuburan perairan dan zat-zat hara (faktor eksternal). Ekosistem lamun merupakan ekosistem yang sangat rentan terhadap kerusakan atau gangguan dan satu hal yang perlu diketahui bahwa ekosistem ini sulit untuk baik kembali tidak seperti tumbuhan didarat. Hal ini bisa menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem pesisir dan laut sehingga akan menyebabkan ekosistem dan biota disekitarnya ikut terdampak mengingat cukup pentingnya peranan dari ekosistem padang lamun pada

wilayah pesisir dan laut (Orth et al., 2006; Waycott et al., 2009).

Padang lamun merupakan suatu ekosistem pesisir dan laut di perairan dangkal yang sangat kompleks dan memiliki produktivitas hayati yang tinggi dan oleh sebab itu ekosistem lamun ini merupakan salah satu ekosistem yang memiliki peranan penting bagi lingkungan pesisir dan laut dari segi ekologis dan ekonomis. Fungsi ekologis pada ekosistem ini contohnya adalah sebagai tempat tinggal dan tempat mencari makan bagi para biota laut dan juga sebagai tempat pemijahan juga sebagai tempat untuk mencari perlindungan dari berbagai jenis biota laut. Banyak sekali dari biota laut yang memiliki nilai yang cukup penting secara komersil dan juga rekreasi dan dalam siklus hidupnya sangat bergantung pada ekosistem padang lamun. Mengingat besarnya peranan dan juga manfaat dari ekosistem ini terhadap lingkungan disekitarnya dan juga sangat besarnya tekanan yang disebabkan oleh aktivitas-aktivitas manusia, kegiatan industri dan juga pembangunan yang dilakukan pada wilayah yang akan memberikan dampak juga tekanan pada ekosistem ini maka harus dilakukan usaha perlindungan dan juga pelestarian melalui program-program manajemen seperti contohnya adalah konservasi pada ekosistem padang lamun tersebut harus dilakukan terutama oleh masyarakat di sekitar. Manajemen dalam keperluan konservasi memerlukan pemahaman yang baik mengenai ekosistem padang lamun dari segi ekologi ekosistem ini termasuk dalam jenis lamun, kerapatan

lamun, dan juga persentase penutupan lamun lalu jenis biota yang berasosiasi dengan ekosistem padang lamun (Orth et al., 2006; Cullen-Unsworth & Unsworth, 2013).

Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 200 Tahun 2004 Tentang Kriteria Baku Kerusakan dan Pedoman Penentuan Status Padang Lamun disebutkan bahwa ekosistem padang lamun merupakan sumberdaya alam yang memiliki berbagai fungsi sebagai habitat tempat berkembang biak, tempat mencari makan dan tempat berlindung bagi biota laut, peredam gelombang air laut, pelindung pantai dari erosi serta penangkap sedimen. Oleh karena itu perlu tetap dipelihara statusnya keberlangsungan dan kelestariannya. Fungsi ekologis padang lamun memiliki peran penting yakni sebagai ekosistem yang memiliki produktivitas organik yang tinggi yang dapat berfungsi sebagai sumber makanan, rekreasi, tempat berlindung alami, konservasi dan lain sebagainya. Suatu ekosistem pesisir dan laut terjadi pertukaran materi dan juga transformasi yang berlangsung diantara kedua komponen atau lebih dalam sistem tersebut. Kelangsungan suatu ekosistem pada proses tersebut sangat menentukan kelestarian dan keberlangsungan sumberdaya alam sebagai salah satu komponen yang terlibat dalam sistem tersebut. Oleh karena itu juga perlu diperhatikan hubungan-hubungan ekologi yang berlangsung diantara komponen sumberdaya alam yang menyusun suatu sistem (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 200 Tahun 2004; Orth et al., 2006).

Mengingat dampak kerusakan pada padang lamun baik secara alami maupun dari kegiatan manusia maka usaha rehabilitasi sangat diperlukan dalam menjaga tingkat kelestarian pada ekosistem padang lamun juga untuk mengembalikan kondisi ekosistem lamun ini agar menjadi lebih baik. Usaha rehabilitasi pada suatu ekosistem di suatu perairan dapat dilakukan dengan berbagai cara dan salah satunya adalah dengan menggunakan metode transplantasi. Cara transplantasi lamun belum banyak berkembang di Indonesia, namun telah banyak dilakukan oleh para tenaga ahli diluar negeri dengan menggunakan jenis dan metode yang berbeda. Transplantasi lamun pertama kali dilakukan oleh Addy pada tahun 1947 pada lamun jenis *Zostera marina*. Transplantasi merupakan usaha penanaman kembali dengan cara mengambil bagian dari lamun dari tempat asal lamun atau ekosistem lamun yang memiliki persentase penutupan yang tinggi untuk ditanam kembali pada daerah yang terkena dampak kerusakan akibat faktor alam maupun faktor dari aktivitas manusia. Tujuan dari dilakukannya rehabilitasi ini adalah untuk memulihkan ekosistem padang lamun, menciptakan padang lamun baru pada lokasi yang belum ditumbuhi lamun dan juga menjaga kelestariannya dari dampak kerusakan (Wulandari et al., 2013).

Ekosistem padang lamun yang luas juga tergantung pada kesadaran masyarakat dan juga kondisi lingkungan yang ada pada perairan yang dihuni ekosistem ini. Oleh karena itu, walaupun pada suatu

wilayah memiliki ekosistem padang lamun dengan luasan yang sangat tinggi namun keberadaan padang lamun sangat rentan terhadap ancaman dan gangguan baik secara alami maupun dari aktivitas manusia seperti yang terjadi dalam suatu wilayah yakni lamun mengalami kerusakan fisik karena adanya pembangunan resort pariwisata di pantai yang tidak mengindahkan garis pantai dan banyak mengorbankan padang lamun. Kejadian-kejadian tersebut berakibat pada ekosistem lamun yang pada akhirnya akan mengalami degradasi. Maka dari itu perlu diadakannya rehabilitasi keras pada ekosistem ini salah satunya adalah dengan menggunakan metode transplantasi. Keberhasilan pada kegiatan restorasi atau rehabilitasi ini dilihat dari laju pertumbuhan dari spesies lamun yang ditanam pada tempat yang mengalami kerusakan atau tempat yang belum dihuni oleh lamun. Jenis perlakuan pada saat penanaman lamun juga bisa di variasikan berdasarkan jumlah tegakan yang diujikan karena jumlah tegakan lamun donor yang digunakan dalam transplantasi akan berpengaruh pada keberadaan lamun donor karena mungkin pada saat pengambilan lamun donor sangat rentan terjadi kerusakan seperti terinjak, pengambilan yang salah, padahal tujuan dari transplantasi adalah untuk menumbuhkan lamun pada kondisi yang rusak atau tidak ada lamun sama sekali bukan malah menjadi penyebab rusaknya keberadaan lamun sebagai donor pada kegiatan transplantasi tersebut (van Katwijk et al., 2009; Wulandari et al., 2013).

Ekosistem lamun ini hidup di habitat perairan pantai yang dangkal, seperti halnya rumput didarat, mereka mempunyai tunas berdaun tegak dan tangkai-tangkai yang merayap yang efektif untuk berkembang biak. Berbeda dengan tumbuh-tumbuhan laut yang lainnya. Lamun mempunyai akar dan sistem internal untuk mengangkut gas dan zat-zat hara. Lamun merupakan produktifitas primer di perairan dangkal di seluruh dunia dan merupakan sumber makanan penting bagi banyak organisme. Penurunan luas padang lamun di Indonesia dapat disebabkan oleh faktor alami dan hasil aktivitas manusia terutama di lingkungan pesisir. Faktor alami tersebut antara lain gelombang dan arus yang kuat, badai, gempa bumi, dan tsunami. Sementara itu, kegiatan manusia yang berkontribusi terhadap penurunan area padang lamun adalah reklamasi pantai, pengerukan dan penambangan pasir, serta pencemaran (Waycott et al., 2009; Unsworth et al., 2019).

Ekosistem padang lamun tumbuh subur terutama di daerah pasang surut terbuka serta perairan pantai yang di dasarnya berupa lumpur, pasir, kerikil, dan patahan karang dengan kedalaman sekitar 4m. tumbuhan lamun ini memiliki beberapa sifat yang memungkinkan hidup di lingkungan laut, yaitu mampu untuk hidup di media air asin, mampu berfungsi normal dalam keadaan terbenam, mempunyai sistem perakaran jangkar yang berkembang dengan baik, mempunyai kemampuan untuk berkembang biak secara generatif dalam keadaan terbenam, dan dapat berkompetisi dengan organisme lain

dalam keadaan stabil ataupun tidak stabil pada lingkungan laut. Sebaran ekosistem lamun di Indonesia ini sangat luas terutama di wilayah pesisir timur seperti di pulau Ternate yang mana memiliki dinamika perairan yang relatif tenang dengan substrat yang mendukung untuk digunakan sebagai tempat pertumbuhan ekosistem lamun. Beberapa metode transplantasi lamun telah dikembangkan dan diuji coba didalam maupun diluar negeri. Maka dari itu juga masih banyak sekali diperlukan suatu uji coba yang nantinya diharapkan dapat memberikan data dan informasi mengenai tingkat kelangsungan hidup lamun dan metoda transplantasi lamun yang terbaik dan paling cocok untuk diaplikasikan dalam suatu wilayah kajian dalam upaya rehabilitasi atau restorasi ekosistem lamun (Hemminga & Duarte, 2000; Orth et al., 2006).

Transplantasi merupakan suatu metode memindahkan dan menanam di tempat lain; mencabut dan memasang pada tanah lain atau pada situasi lain. Transplantasi seringkali digunakan dalam proses pemulihan ekosistem pada ekosistem di pesisir dan laut khususnya pada ekosistem padang lamun. Restorasi merupakan suatu upaya untuk membuat kembali atau meletakkan kembali ke bentuk sebelumnya atau keadaan aslinya atau dapat disebut juga dengan memperbaiki, memperbarui, membuat kembali atau pemulihan kembali. Upaya- upaya tersebut dilakukan karena padang lamun mungkin akan rusak akibat berbagai aktivitas manusia sebagaidampak dari kegiatan pembangunan

pada daerah pantai, maka metode penanaman kembali atau biasa disebut dengan metode transplantasi ini dikembangkan sebagai salah satu cara untuk memperbaiki atau mengembalikan habitat lamun yang terkena dampak secara langsung maupun tidak langsung dan mengalami kerusakan. akan tetapi metode transplantasi ini dalam pengambilan donor lamun harus menggunakan cara pengambilan yang benar dan sesuai dengan prosedur yang benar agar tujuan untuk merehabilitasi lamun bisa terpenuhi tanpa merusak ekosistem lamun yang dijadikan sebagai donor atau yang diambil untuk di tanam kembali pada suatu wilayah perairan (Hemminga & Duarte, 2000; Orth et al., 2006).

➤ Metode Rehabilitasi Ekosistem Lamun

Ekosistem padang lamun pada saat ini mulai banyak yang mengalami kerusakan yang diakibatkan adanya aktivitas manusia maupun akibat dari faktor alam. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk memperbaiki atau rehabilitasi ekosistem padang lamun yaitu dengan menerapkan dan mengembangkan metode transplantasi atau penanaman lamun di perairan. Kegiatan transplantasi lamun awal mulanya dilakukan oleh Addy pada tahun 1947. Transplantasi lamun pertama dilakukan pada lamun jenis *Zostera marina*. Metode transplantasi saat ini sudah mulai banyak digunakan di wilayah Indonesia maupun wilayah Luar Negeri. Transplantasi lamun di wilayah Indonesia saat ini yang sudah dikenal dan sudah digunakan yaitu metode transplantasi lamun

menggunakan jangkar dan metode transplantasi lamun tidak menggunakan jangkar (Riniatsih & Endrawati, 2013; van Katwijk et al., 2009; UNEP & Nairobi Convention, 2020).

Metode Transplantasi Lamun dengan Jangkar

Metode transplantasi lamun menggunakan jangkar merupakan metode yang digunakan untuk tranplantasi lamun dengan menggunakan bantuan alat atau yang biasa disebut dengan jangkar. Alat yang digunakan seperti *staples*, *frames*, *sprin anchor*. Metode transplantasi lamun dengan jangkar yaitu dilalukan dengan cara mengambil tanaman lamun dengan pisau setelahnya lamun akan ditransplantasikan pada lokasi yang baru. Transplantasi ini dilakukan dengan mengkaitkan lamun dengan sebuah penyangga dan ditali dengan kuat. Metode transplantasi lamun dengan jangkar dilakukan pada kondisi perairan yang sedikit berarus dan bergelombang tujuannya agar lamun dapat terbawa oleh pergerakan arus maupun gelombang sehingga persebaran lamun diperairan laut merata (Riniatsih & Endrawati, 2013).

A. Metode *Sprig Anchored* (Jangkar)

Metode *sprig anchor* merupakan metode yang digunakan untuk tranplantasi lamun dengan menggunakan bantuan alat atau yang biasa disebut dengan jangkar. Metode transplantasi lamun dengan jangkar yaitu dilalukan dengan cara mengambil tanaman lamun dengan pisau setelahnya lamun akan ditransplantasikan pada lokasi yang baru. Transplantasi ini dilakukan dengan mengkaitkan

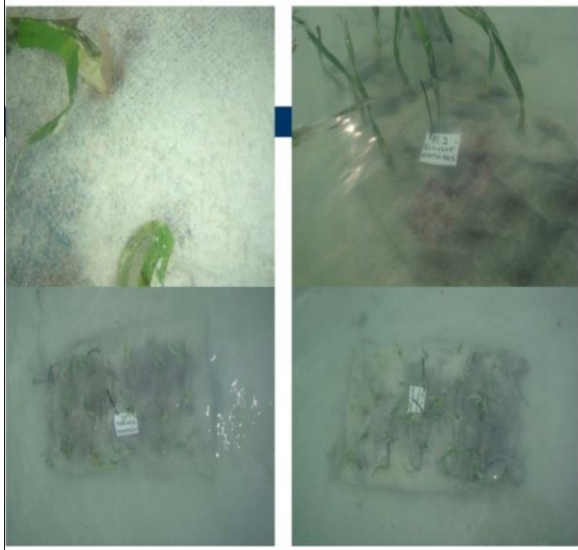
lamun dengan sebuah penyangga dan ditali dengan kuat. Riniatsih dan Endrawati (2013) transplantasi lamun yang dilakukan dengan metode *sprig anchored* (jangkar) pada perairan Teluk Awur Jepara yang mana kondisi lingkungannya memiliki kerapatan lamun yang tinggi dan luas. Transplantasi yang dilakukan yaitu menggunakan lamun jenis *C. rostrata* yaitu memiliki tingkat kelangsungan hidup yang tinggi hingga mencapai angka 100 %. Laju pertumbuhan daun lamun hasil transplantasi jika dibandingkan dengan laju pertumbuhan lamun secara alami memiliki perbedaan dimana laju pertumbuhan lamun hasil transplantasi lebih rendah. Perbedaan itu terjadi dikarenakan pada saat proses fotosintesis energi yang diperoleh lamun transplantasi lebih rendah sebagai akibat adanya adaptasi yang dilakukan oleh lamun transplantasi terhadap substrat barunya sehingga fotosintesisnya tidak berjalan dengan baik. Faktor lainnya yang mempengaruhi pertumbuhan lamun transplantasi yaitu eksternal seperti suhu, salinitas, pH, kecerahan, ketersediaan nutrisi tetapi juga dipengaruhi oleh faktor internal seperti fisiologis dan metabolisme lamun. Kondisi lingkungan seperti substrat juga mempengaruhi pertumbuhan lamun transplantasi apabila kondisi lingkungan substrat memiliki kesamaan dengan kondisi substrat lokasi asal bibit sebelumnya maka lamun mudah beradaptasi sehingga pertumbuhannya berjalan dengan baik. Lamun jenis *C. rostrata* menunjukkan bahwa lamun jenis ini

memiliki adaptasi yang cukup baik dan dapat hidup diberbagai kondisi lingkungan. Transplantasi lamun jenis *Enhalus acoroides* tidak hanya dilakukan pada perairan di Indonesia tetapi juga dilakukan pada negara lainnya salah satunya yaitu di Thailand. Fonseca et al. (1998) dan van Katwijk et al. (2009) lamun jenis *Enhalus acoroides* dapat dilakukan transplantasi di wilayah perairan di Thailand yang mengalami degradasi sehingga perlu adanya restorasi pada ekosistem lamun. Metode transplantasi yang digunakan yaitu sama dengan metode yang dilakukan oleh lainnya yaitu metode jangkar namun yang membedakan yaitu hasilnya. Hasil transplantasi lamun jenis *Enhalus acoroides* di perairan Thailand yaitu memiliki tingkat kelangsungan hidup yang tinggi dan lamun juga didapati adanya yang mengalami kerusakan. Faktor yang mempengaruhi keberhasilannya diperairan Pantai Thailand yaitu suhu, dan kekeringan.

Berbeda dengan metode sprig anchor yang dilakukan oleh Umroh dan Utami (2014) di perairan Pantai Teluk Kabupaten Bangka yaitu dengan media transek kuadrat yang diletakkan di dasar perairan atau pad sedimen. Penanaman lamunnya dilakukan pada surut terendah perairan hingga kedalaman 10 m dan kedalaman untuk sedimen yaitu 10cm yang kemudian ditutupi dengan jaring waring. Penutupan dengan jaring waring berfungsi untuk menghindari lamun terbawa arus maupun dimakan oleh predator. Selain

itu transek kuadrat dibenamkan pada sedimen hingga bagian akar lamun tertutupi sedimen. Tahap selanjutnya yaitu lamun yang telah ditanam akan dilakukan monitoring setiap bulannya untuk mengetahui kondisi perkembangan lamun yang ditanam pada perairan tersebut. Penanaman bibit lamun tidak langsung dilakukan pada perairan namun dilakukan didarat kemudian media tanam yang sudah di tanami lamun akan dimasukkan ke dasar sedimen perairan.

Umroh dan Utami (2014), kelebihan menggunakan metode ini yaitu biaya yang dibutuhkan tidak terlalu banyak dan alat yang digunakan mudah untuk ditemukan. Kekurangan dari metode sprig anchor yaitu laju pertumbuhannya lambat akibat dari bibit lamun yang tidak terlindungi dan tidak kokoh jika ada pergerakan arus di perairan sekitar. Selain itu adanya kompetisi nutrisi antara lamun dengan algae yang menempel pada kayu pengikat/jangkarnya. Biaya yang dibutuhkan untuk transplantasi lamun menggunakan metode sprin anchor kurang lebih sebesar Rp 100.000 – Rp 150.000



Gambar 34. Transplantasi Lamun Metode *Sprig Anchor* dengan Transek Kuadrat

B. Metode Frame

Lanuru et al. (2013) metode frame merupakan salah satu metode transplantasi lamun yang menggunakan jangkar atau penyangga sebagai penopang bagi lamun untuk tumbuh diperairan. Metode frame ini dilakukan dengan cara pengambilan sampel atau bibit lamun dengan menggunakan tangan tanpa substratnya. Metode frame dilakukan dengan cara material lamun tanpa substrat ditransplantasikan dengan diikatkan pada bingkai logam berukuran $0,6 \times 0,6$ m yang terbagi menjadi 144 grid bujursangkar berukuran 5×5 cm. Bingkai logam selanjutnya dimasukkan ke dasar perairan yang kemudian lamun akan mengalami pertumbuhan dengan sendirinya.

Lanuru et al. (2013) terkait transplantasi lamun di perairan Pulau Barrang Lompo, Kota Makasar yaitu tingkat kelangsungan hidup lamun yang paling tinggi diperoleh dari metode framedengan nilai 88%. Hasil tersebut dapat menunjukkan jika perairan Pulau Barrang Lompo, Kota Makasar memungkinkan jika dilakukan transplantasi lamun dalam skala yang besar karena hasil uji coba transplantasi mendapatkan hasil yang bagus dan tinggi dengan nilai diatas 60%. Metode frame menunjukkan hasil yang tinggi dikarenakan metode ini menggunakan bingkai besi yang berguna sebagai perlindungan bagi lamun dari pergerakan arus dan gelombang yang kuat serta dari predator yang dapat merusak lamun. Metode frame ini cocok dilakukan pada perairan yang dalam dengan kondisi arus dan gelombang yang kuat.

Transplantasi yang dilakukan Zhou et al. (2014) yaitu menerapkan metode transplantasi lamun menggunakan jangkar. Kajian dilakukan di Teluk Huiquan dan Teluk Qingdao yang berada di Kota Qingdao Provinsi Shandong China. Jenis lamun yang ditransplantasikan yaitu *Zostera marina* L dimana lamun jenis ini banyak tersebar dan mendominasi perairan di bagian bumi utara dan yang paling luas berada di laut China Utara. Kerusakan lamun diperairan ini dikarenakan kerusakan habitat akibat adanya kegiatan manusia yang semakin meningkat. Akibat kerusakan ekosistem lamun di perairan China Utara maka dilakukannya restorasi dengan melakukan

transplantasi lamun. Metode yang digunakan yaitu dengan mencangkok dan melakukan pengikatan batu yang mana metode ini merupakan metode modifikasi dari metode frame. Lamun yang diambil sebagai materi transplant yaitu lamun yang sudah tunas berakar segar yang memiliki rimpang berukuran 2-3cm dan panjang daun mencapai 20 cm dibagian daun yang rusak dapat dilakukan pemotongan dengan gunting atau pisau. Selanjutnya lamun akan ditanam diperairan zona interdal dengan jarak 25cm dalam satu baris dan 25 cm jarak dalam satu baris pada setiap spesimen. Lamun lalu ditransplantasikan dengan bantuan batu yang mana akar, rimpang dan tunasnya diikatkan pada batu menggunakan tali tipis yang kemudian bagian bagian rimpang akan dikubur dengan sedimen. Setelah proses transplantasi selesai yaitu dilakukan tahapan monitoring untuk mengetahui perkembangan lamun di lokasi tersebut.

Zhou et al. (2014) selama 3 bulan pemantauan tanaman lamun memiliki ketahanan hidup yang tinggi hingga mencapai 98%. Pertumbuhan lamun diperairan ini mengikuti pola musim dimana ketika musim semi yang suhu air optimal lamun berkembangbiak secara seksual dan pertumbuhan lamun terjadi sangat cepat. Reproduksi lamun pada saat musim gugur dimana suhu air yang rendah yaitu terjadi secara vegetatif dimana tunas bagian samping tumbuh cepat dan tunas tua akan mengalami defoliiasi dan daun banyak ditempli alga. Reproduksi lamun pada umumnya

yaitu secara vegetatif sepanjang tahun dikarenakan karena faktor alam dan pola musim tertentu. Faktor lain yang mendukung transplantasi diperairan ini yaitu sedimennya dimana sedimen diperairan ini yang mendominasi yaitu pasir sekitar 87%, lanau sekitar 17% . Penggunaan batu penahan dalam metode ini bertujuan agar lamun yang ditransplantasi tidak terkena pergerakan arus, meminimalkan kemungkinan akumulasi sulfida beracun yang dapat mengakibatkan lamun mati serta penggunaan batu penahan ini ramah lingkungan. Berdasarkan hasil tersebut dapat dikatakan bahwa transplantasi lamun dengan metode jangkar di wilayah perairan China Utara berjalan dengan baik sehingga metode ini dapat digunakan pada tranplantasi lamun di wilayah perairan lainnya yang ekosistem lamun nya rusak.

Kelebihan dari menggunakan metode frame yaitu tingkat kelangsungan hidup lamu tinggi dan tidak mudah rusak karena menggunakan bingkai besi yang berguna sebagai perlindungan bagi lamun dari pergerakan arus dan gelombang yang kuat serta dari predator yang dapat merusak lamun. Kekurangan dari penggunaan metode frame yaitu biaya yang dibutuhkan untuk transplantasi lamun cukup mahal dan tenaga yang dibutuhkan juga terlalu besar dan banyak. Biaya yang dibutuhkan untuk transplantasi lamun menggunakan metode frame berkisar antara Rp 50.000 – 150.000



Gambar 35. Transplantasi Lamun Metode Frame

C. Metode *Terfs*

Metode *terfs* merupakan metode transplantasi lamun yang digunakan sebagai upaya pemulihan atau regenerasi lamun secara asexual dengan cara dilakukan pengikatan bibit lamun pada dasar bingkai atau frame. Metode ini dianggap efektif untuk transplantasi lamun karena memberikan tingkat kelangsungan hidup yang tinggi bagi lamun. Fonseca et al. (1998) dan van Katwijk et al. (2009) transplantasi lamun dengan menggunakan metode *terfs* dapat dilakukan diperairan yang memiliki karakteristik arus atau gelombang yang tenang maupun sedikit kuat. Penggunaan metode *terfs* ini dilengkapi dengan frame yang berguna sebagai penyangga lamun. Frame yang digunakan berupa besi atau kayu yang memiliki massa yang berat dan kuat agar lamun tidak terbawa oleh pergerakan arus. Metode *terfs* ini dilakukan dengan

cara mengaitkan lamun donor dengan tali rafia hingga kuat dan dibagian keempat sisi frame diberi patok agar frame tidak terbawa arus dan akar lamun menancap kuat disubstratnya. Lamun yang ditransplantasi dengan metode *terfs* ini masih lengkap dimana masih terdapat rimpangnya, tunas dibagian daun dan terdapat akar. Transplantasi dengan metode *terfs* ini tidak perlu menggunakan substrat yang berasal dari lokasi lamun sebelumnya. Hasil transplantasi menggunakan metode ini efektif untuk dilakukan di Perairan Pantai Desa Waai Kabupaten Maluku Tengah namun masih ada kekurangannya yaitu substrat sedimen ataupun serasah lamun mudah terbawa arus dikarenakan penanamannya tidak menggunakan wadah. Tingkat kelangsungan hidup lamun dengan menggunakan metode *terfs* mencapai angka 100%.

Kelebihan dari metode *terfs* yaitu lebih efektif untuk transplantasi lamun karena tingkat kelangsungan hidup lamun tinggi serta tidak mudah rusak akibat pergerakan arus dan adanya predator. Kelemahan dari metode *terfs* ini yaitu membutuhkan biaya yang banyak serta waktu yang dibutuhkan terlalu lama dan dibutuhkan keahlian khusus untuk transplantasi lamun dengan metode *terfs*. Biaya yang dibutuhkan untuk transplantasi lamun menggunakan metode *terfs* yaitu berkisar Rp. 100.000-Rp. 200.000.



Gambar 36. Transplantasi Lamun Metode *Terfs*

D. Metode *Staple*

Metode *staple* merupakan salah satu metode transplantasi lamun dengan menggunakan jangkar. Lanuru et al. (2013) pengambilan sampel atau bibit lamun dapat diambil dari induknya yang memiliki kondisi sehat dan hidup diperairan sekitar. Pengambilan sampel sama dengan metode sprig dan frame dilakukan dengan cara langsung menggunakan tangan untuk menghindari terjadi kerusakan pada induknya yang berperan sebagai lamun donor. Metode *staple* ini dilakukan dengan mentransplantasikan pada setiap 1 tegakan lamun ditanamkan di sedimen dengan kedalaman 5-7 cm yang mana setiap unit material dipasang jangkar yang terbuat dari bambu agar tidak terbawa oleh arus. Hasil dari transplantasi lamun dengan menggunakan metode *staple* kelangsungan hidupnya sebesar 78%. Metode *staple* walaupun tidak menghasilkan kelangsungan hidup yang tinggi namun

saat ini metode ini sudah mulai banyak digunakan dan dikembangkan. Hanya saja penggunaan metode ini harus disertai dengan pemasangan jangkar pada setiap tegakan lamun dan harus di daerah subtidal.

Kelebihan dari metode *staple* yaitu lamun tidak mudah terbawa oleh pergerakan arus perairan dikarenakan adanya penyangga yang kuat serta tempat yang dibutuhkan tidak perlu yang luas. Kekurangan dari metode *staple* yaitu mahal sama dengan metode *sprin anchor* dan *frame* karena menggunakan kayu atau besi sebagai penyangga yang akan meningkatkan biaya transplantasi lamun selain itu membutuhkan waktu yang lama. Biaya yang dibutuhkan untuk transplantasi lamun dengan menggunakan metode *staple* kurang lebih sebesar antara Rp.200.000-Rp.250.000



Gambar 37. Transplantasi Lamun Metode *Staple*

Metode Transplantasi Lamun tanpa Jangkar

Riniatsih dan Endrawati (2013) metode transplantasi lamun tanpa jangkar merupakan metode yang digunakan untuk transplantasi lamun yang lengkap dengan substratnya tanpa harus menggunakan bantuan alat (jangkar). Transplantasi lamun tanpa jangkar dapat dilakukan dengan metode *turfs*, flugs hingga semai biji. Penggunaan metode ini harus disesuaikan dengan kondisi lingkungan perairan agar transplantasi lamun ini mendapatkan hasil yang bagus.

A. Metode *Turfs*

Metode *turfs* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk kegiatan transplantasi atau penanaman lamun di wilayah perairan laut. Metode ini dilakukan dengan cara mengambil lamun beserta dengan substratnya dan rizhoma nya yang kemudian ditanam di lokasi transplantasi yang telah ditentukan sebelumnya. Pengambilannya dilakukan dengan menggunakan sekop. Penggunaan metode turf dianggap paling mudah dan memungkinkan dikarenakan jenis substrat yang keras dan padat yang mana akar dapat terbenam atau tertancap secara dalam dan kuat. Jenis lamun yang cocok untuk dilakukan metode *turfs* yaitu *Enhalus acoroides* (Riniatsih & Endrawati, 2013).

Kelebihan dari metode *turfs* ini adalah dalam perlakuan transplantasinya yang cukup mudah dan hanya menggunakan bahan-bahan yang sedikit dan mudah ditemukan juga biaya yang dibutuhkan sangat

sedikit. Kekurangan pada metode *turfs* ini adalah lamun bisa mengalami kematian akibat tercabut atau terlepas dari substrat tempat transplantasi yang diakibatkan oleh gelombang yang cukup kuat. Biaya yang dibutuhkan untuk melakukan transplantasi lamun menggunakan metode *turfs* ini sebesar Rp. 100.000-Rp. 250.000.

B. Metode Plugs

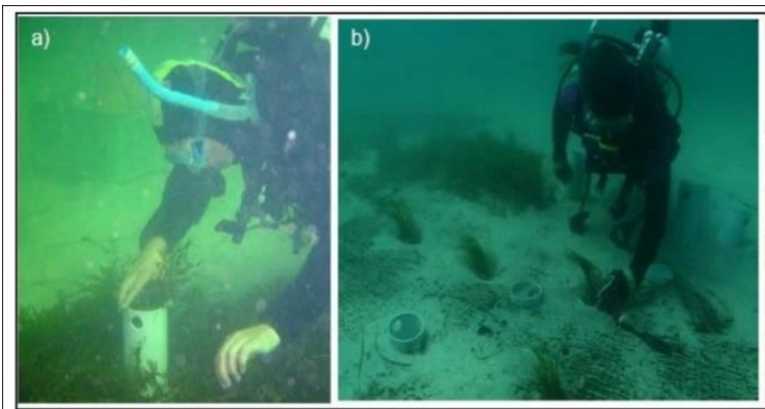
Metode plugs merupakan metode untuk transplantasi atau penanaman lamun di perairan laut. Metode plugs dilakukan dengan cara memindahkan tanaman lamun bersamaan dengan substrat dan rhizomanya dengan menggunakan bantuan pipa PVC. Penggunaan pipa PVC dengan ukuran 4-6 cm untuk memudahkan kegiatan ini agar lamunnya tidak rusak. Lamun yang telah diambil kemudian akan ditanam di wilayah perairan yang mana sebelumnya di sedimennya sudah dibuatkan lubang seukuran dengan pipa PVC nya. Pelubangan bertujuan agar lamun menempel dan dapat hidup di substrat baru (Riniatsih & Endrawati, 2013).

Lanuru et al. (2013) pengambilan sampel yang menggunakan metode plugs dilakukan dengan menggunakan pipa paralon berdiameter dan panjang 15 cm. Langkah awal bibit lamun beserta substratnya diambil dengan menggunakan pipa kemudian lamun yang sudah diambil kemudian disimpan di wadah yang berisi sedikit air laut untuk menjaga kondisi lamun agar tidak kekeringan dan untuk transplantasi

agar dilakukan secepat mungkin tidak lebih dari 1 jam untuk menghindari kerusakan lamun. Penanaman lamun dengan metode plugselanjutnya dilakukan dengan menggunakan 10 unit material transplant yang mana 1 unit sama dengan 1 tegakan lamun dengan substratnya. Material transplant selanjutnya akan ditanam pada 4 plot dengan ukuran masing-masing plot $0,5 \times 0,5$ m di lokasi yang telah ditentukan sebelumnya. Bibit lamun yang telah ditanam pada plot dapat diamati untuk mengetahui perkembangannya yang dapat dilakukan setiap satu bulan sekali. Transplantasi dengan metode plugs menghasilkan nilai yang rendah yang kemungkinan terjadi disebabkan tidak adanya sistem jangkar yang bersifat sebagai perlindungan pada tegakan lamun sehingga lamun terkena pergerakan air dan mudah tercabut akhirnya lamun mengalami kematian. Penggunaan metode plugs menunjukkan jika penggunaan metode ini lebih cocok dilakukan diperairan yang memiliki pergerakan arus dan gelombang yang tenang.

Wiratama (2021), metode plugs merupakan metode yang paling sering digunakan dalam transplantasi ekosistem lamun. Keuntungan dari menggunakan metode atau teknik plug dikarenakan biaya yang diperlukan tidak terlalu banyak serta tidak membutuhkan keahlian khusus. Pengambilan bibit lamunnya hanya dengan menggunakan paralon yang ditancapkan pada substrat yang tersedia bibit

lamunnya lalu diangkat sehingga substrat dan bibit lamunnya akan ikut terangkat. Selanjutnya akan dilakukan penanaman bibit lamun di lokasi yang akan digunakan untuk transplantasi lamun. Selain itu metode plug juga memiliki kekurangan dimana tingkat kelangsungan hidup lamun lebih rendah dibandingkan dengan lamun yang ditransplantasikan dengan metode jangkar karena lamun mudah terbawa oleh arus. Terbawanya lamun oleh arus karena tidak adanya penyangga atau penahan bagi lamun. Metode ini cocok digunakan untuk wilayah perairan yang memiliki arus tenang. Biaya yang diperlukan untuk transplantasi lamun dengan metode plug berkisar Rp. 350.000 – Rp. 500.000



Gambar 38. Transplantasi Lamun Metode Plug

C. Metode Peat Pot

Metode peat pot tidak lain adalah metode untuk transplantasi atau penanaman lamun yang tidak jauh

beda dengan metode plugs. Metode peat pot ini menggunakan wadah yang terbuat dari bahan organik sebagai tempat atau media tanam lamun di perairan. Media atau tempat yang digunakan dapat berbentuk lingkaran ataupun kotak yang berukuran sekitar 8x8 cm. Lamun yang menjadi bibit baru diambil dari tempat lain yang mana tempat ini memiliki kepadatan lamun yang sangat tinggi. Pengambilan lamun dilakukan dengan cara donor atau pengambilan lamun beserta dengan substrat dan rhizomanya dengan menggunakan corer. Penggunaan corer bertujuan agar lamun yang diambil dapat terangkat keseluruhannya mulai dari rhizoma, substratnya hingga bagian atas lamun. Tahap selanjutnya lamun diletakkan pada media tanam dan media tanam selanjutnya diletakkan pada lubang sedimen yang sebelumnya sudah dipersipakan. Media tanam yang telah dimasukkan kedalam lubang akan ditimbun dengan sedimen agar terkubur oleh sedimen dan nantinya lamun dapat tumbuh dengan substrat barunya serta kokoh. Kelebihan dari transplantasi lamun menggunakan metode peat pot ini adalah biaya yang diperlukan tidak terlalu banyak serta tidak membutuhkan keahlian khusus serta pengambilan bibit lamunnya juga cukup mudah. Namun metode ini juga memiliki kekurangan yaitu kemungkinan kematian lamun terjadi akibat beberapa lamun terlepas dari substrat juga beberapa pot bisa mengalami pengurangan substrat karena miring akibat gelombang tinggi. Metode ini cukup

aman apabila dilakukan pada perairan yang tenang. Biaya yang dibutuhkan pada metode peat pot ini adalah sebesar Rp. 50.000 – Rp. 150.000.

D. Metode *Seeds*

Metode *seeds* merupakan metode transplantasi lamun dengan cara pembibitan pada biji lamun. Biji lamun berasal dari buah lamun yang diambil dari lamun yang tumbuh diperairan yang kemudian dilakukan pemanenan. Langkah untuk menanam biji lamun yang pertama yaitu memanen buah lamun kemudian buah lamun dibelah menjadi beberapa bagian untuk kemudian diambil bijinya. Buah lamun terdiri 4-5 biji per buahnya dimana biji tersebut langsung ditanam dimedia tanam dengan substrat atau sedimen perairan tersebut dan kemudian disiram dengan menggunakan air laut yang mengalir. Biji lamun nantinya akan tumbuh menjadi lamun dengan kerapatan yang berbeda-beda. Penggunaan metode *seeds* ini jarang dilakukan sehingga tidak direkomendasikan untuk transplantasi lamun dengan metode *seeds*. Hal ini dikarenakan pertumbuhan biji lamun atau kecepatan perkecambahan lamun kurang sukses dan sangat rendah serta benih lamun ukurannya sangat kecil sehingga mudah terbawa oleh arus (Riniatsih & Endrawati, 2013).

Metode *seeds* ini lebih cocok dilakukan untuk restorasi lamun dalam jumlah skala yang sangat besar dimana baru bisa dilakukan di wilayah perairan yang memiliki arus atau gelombang yang memiliki energi

rendah. Pemilihan lokasi yang memiliki enenrgi rendah bertujuan agar benih yang didapatkan dapat tumbuh menetap dan berkecambah. Lokasi selain perairan yang energi rendah yaitu harus diperhatikan predator terhadap benih lamun. Penanaman atau transplantasi lamun dengan metode *seeds* pertama kali dilakukan dengan benih lamun jenis *Thalassia* dan *Thorhaug* (Riniatsih & Endrawati, 2013).

Eriander et al. (2016) metode transplantasi lamun dapat dilakukan dengan menggunakan metode benih (*Seed transplants*). Kegiatan ini dilakukan di daerah yang memiliki iklim subtropis atau dingin dengan jenis lamun yang digunakan yaitu *Zostera marina* L. Pengambilan donor transplant atau benih diambil dari perairan teluk. Metode benih atau seed transplant dengan mengambil sampel di 3 (tiga) titik lokasi yang kemudia 15 pucuk dimasukkan kedalam kantong jaring dengan perkiraan jumlah mencapai 400 benih. Selanjutnya kantong jaring ditambatkan pada permukaan sedimen dan diikat dengan tali dan paku logam. Plot transek ditempatkan pada transek dengan kondisi sejajar dengan pantai.

Eriander et al. (2016) yaitu dimana transplant lamun dengan metode benih memberikan hasil yang tidak bagus. Benih-benih lamun yang ditanam banyak yang tidak tumbuh dan berkecambah hal ini dikarenakan karena banyak dimakan oleh predator seperti kepiting, cacing, terjadi penguburan oleh sedimen. Selain faktor alam faktor kualitas benih juga

mempengaruhi dimana kualitas benih yang digunakan kurang baik sehingga tingkat laju pertumbuhannya lebih rendah. Kondisi kedalaman perairan juga memiliki pengaruh terhadap laju pertumbuhan lamun dimana semakin dalam perairan yang digunakan untuk transplant lamun maka laju pertumbuhan lamun rendah dibandingkan dengan transplant lamun diwilayah perairan yang dangkal. Hal ini terjadi karena sinar matahari yang menembus perairan. Sinar matahari berperan sebagai sumber energi dalam membantu lamun melakukan proses fotosintesis.

Kelebihan dari penggunaan metode *seeds* untuk transplantasi lamun yaitu tidak membutuhkan biaya yang terlalu banyak selain itu tenaga yang dibutuhkan tidak besar dan tidak perlu memiliki keahlian khusus. Selain itu kekurangan dari penggunaan metode *seeds* yaitu bibit lamun banyak yang pertumbuhan biji lamun atau kecepatan perkecambahan lamun kurang sukses dan sangat rendah serta benih lamun ukurannya sangat kecil sehingga mudah terbawa oleh arus. Biaya yang dibutuhkan untuk kegiatan transplantasi lamun menggunakan metode *seeds* berkisar antara Rp. 50.000 – Rp. 100.000



Gambar 39. Transplantasi Lamun Metode *Seeds*

E. Metode Karung Goni

Transplantasi lamun selain menggunakan metode jangkar dan metode tidak metode jangkar dapat dilakukan dengan menggunakan metode karung goni. Metode karung goni ini merupakan metode eksperimen yang dilakukan oleh Bangka. Metode karung goni terinspirasi dari metode transplantasi yang dilakukan pada rumput laut. Selain menggunakan metode karung goni transplantasi lamun di perairan Pantai Teluk Kabupaten Bangka dilakukan dengan menggunakan metode sprig anchor. Umroh dan Utami (2014) di perairan Pantai Teluk Kabupaten mengetahui metode yang paling efektif untuk dilakukan transplantasi lamun di perairan Pantai Teluk Kabupaten Bangka. Jenis lamun yang digunakan untuk transplantasi yaitu lamun jenis *Cymodocea serrulata* dan *Cymodocea rotundata*. Penggunaan lamun jenis *Cymodocea serrulata* dan

Cymodocea rotundata dikarenakan lamun jenis ini banyak ditemukan di wilayah perairan di Kabupaten Bangka dan merupakan jenis lamun yang mampu beradaptasi di wilayah baru.

Metode karung goni media tanamnya yang digunakan berupa karung goni yang diisi dengan pasir berlumpur dengan penuh dan padat. Karung goni yang telah terisi pasir akan diletakkan di dasar perairan dengan letak atau posisi secara terbaring atau secara horizontal dan untuk bagian atas dari karung goni diberi lubang untuk tempat tanam lamun. Metode karung goni juga menggunakan patok atau kayu penyangga yang ditancapkan pada karung goni yang berisikan pasir berguna sebagai tiang penyangga untuk lamun. Lamun yang digunakan untuk transplantasi bagian akarnya harus dipotong atau dirapikan dengan hati-hati untuk memudahkan dalam proses transplantasi. Lamun kemudian ditanam pada media tanam karung goni. Bibit lamun ini akan diikat pada patok atau kayu penyangga agar ketika terkena arus tidak rusak atau hilang. Penanaman bibit lamun dilakukan dengan substrat nya sekaligus. Tahap selanjutnya yaitu lamun yang telah ditanam akan dilakukan monitoring setiap bulannya untuk mengetahui kondisi perkembangan lamun yang ditanam pada perairan tersebut. Penanaman bibit lamun tidak langsung dilakukan pada perairan namun dilakukan didarat kemudian media tanam yang sudah di tanami lamun akan dimasukkan ke dasar sedimen perairan.

Hasil dari penggunaan metode karung goni oleh Umroh dan Utami (2014), yaitu jenis lamun yang keraptannya tinggi yaitu lamun jenis *Cymodocea serrulata* dikarenakan lamun ini lebih cepat beradaptasi dengan lingkungan baru daripada lamun jenis *Cymodocea rostrata* selain itu lamun jenis *Cymodocea serrulata* lebih banyak dilakukan transplantasi dengan metode karung goni. Metode karung goni terlihat tingkat keberhasilannya dalam transplantasi lamun tinggi dibandingkan transplantasi menggunakan metode sprig anchor. Transplantasi dengan metode karung goni dianggap lebih baik dan efektif dikarenakan lamun lebih survive serta media tanam yang lebih kuat dalam menghadapi kondisi perairan yang berarus besar di perairan Pantai Teluk Kabupaten Bangka. Media karung goni selain sebagai media tanam juga sebagai alat penahan arus. Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan lamun selain arus dan gelombang yang mempengaruhi pertumbuhan lamun di perairan Pantai Teluk Kabupaten Bangka yaitu suhu, intensitas cahaya, kedalaman, kecerahan air dan salinitas. Suhu di perairan Pantai Teluk Kabupaten Bangka pada waktu itu ketika penanaman lamun yaitu rendah berkisar 18°C - 29°C dikarenakan pada musim penghujan, untuk salinitasnya yaitu 30 ppm dimana salinitas di perairan ini cocok untuk pertumbuhan lamun yang mana lamun dapat hidup di perairan yang bersalinitas tinggi. Intensitas cahaya memiliki keterkaitan dengan kecerahan air dan kedalaman dan

kondisi arus di perairan tersebut. Kondisi arus yang kuat mengakibatkan perairan mengalami kekeruhan sehingga kecerahan air nya tidak terlalu bagus dan intensitas cahaya juga tidak terlalu banyak. Kedalaman perairan untuk penanaman lamun juga tidak terlalu dalam dikarenakan keberadaan cahaya dibutuhkan untuk proses pertumbuhan lamun.

Metode karung goni untuk kegiatan transplantasi lamun memiliki kelebihan yaitu lamun tidak mudah rusak akibat terbawa oleh arus karena media tanam yang digunakan kuat dalam menghadapi kondisi lingkungan perairan. Selain itu lokasi yang digunakan tidak memerlukan lokasi yang luas dan cocok digunakan pada semua kondisi perairan. Sedangkan kekurangan untuk metode karung goni yaitu membutuhkan biaya yang sedikit lebih mahal karena untuk membeli karung goninya dan tali pengikatnya dan membutuhkan keahlian khusus dalam menanam lamun pada media tanam karung goni. Prakiraan biaya untuk melakukan transplantasi lamun dengan menggunakan metode karung goni berkisar Rp. 100.000-Rp. 250.000.



Gambar 40. Pengikatan Lamun untuk Metode Karung Goni

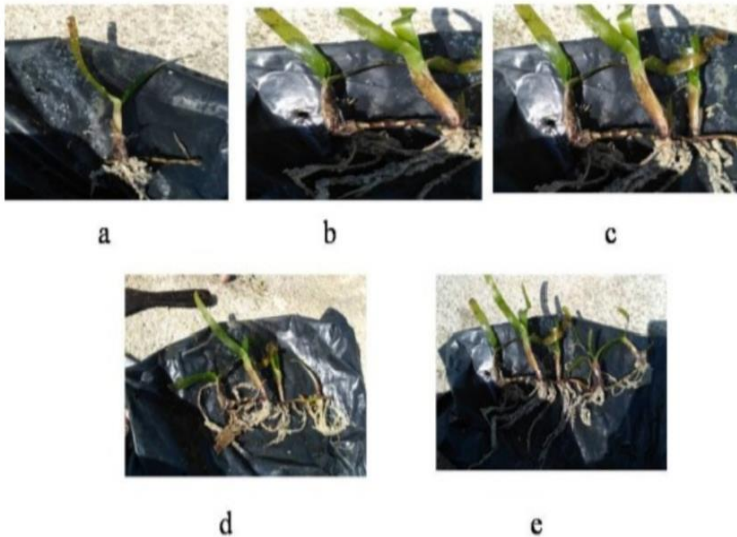
F. Metode Polybag

Metode polybag merupakan metode penanaman yang dapat dilakukan untuk kegiatan transplantasi lamun. Penggunaan wadah tanam seperti peat pot/polybag dalam transplantasi lamun dilaporkan oleh Mustaromin et al. (2019) pada *Enhalus acoroides* di Perairan Sebang Pereh, Bintan. Metode polybag yaitu penanaman bibit lamun yang lengkap beserta dengan rhizoma serta substrat atau sedimen yang diambil dari lokasi lain yang menggunakan media polybag. Polybag

sendiri merupakan media plastik yang sering digunakan dalam penanaman tanaman. Bibit lamun yang diambil beserta dengan rhizoma dan substratnya kemudian di pindah atau ditanam didalam polybag yang kemudian polybag beserta bibit lamun di tanam di perairan dasar atau sedimen lokasi lainnya. Sedimen akan dilubangi sesuai dengan ukuran polybag dan kemudian polybag dimasukkan kedalam lubang dan ditimbun dengan sedimen tersebut. Kelebihan penggunaan metode polybag/peat pot yaitu media tanam dapat membantu melindungi bibit lamun dari arus dan ombak sehingga bibit lebih kokoh. Hasil transplantasi lamun pada awalnya laju pertumbuhan kedua jenis lamun tersebut mengalami penurunan yang dikibatkan lamun masih dalam proses adaptasi atau penyesuaian dengan lingkungan yang baru namun perlahan-lahan laju pertumbuhan lamun mengalami kenaikan dan hasil transplantasi lamun menunjukkan tingkat kelangsungan hidup yang baik.

Metode polybag memiliki kelebihan dimana bibit yang ditanam tidak mudah mati dikarenakan media yang digunakan lebih kuat selain itu bibit lamun tidak dimakan oleh predator akibat terlindungi oleh polybag. Kekurangan dari metode polybag yaitu biaya yang dibutuhkan sangat tinggi akibat penggunaan media tanamnya berupa polybag selain itu polybag yang digunakan harus yang tebal dan butuh keahlian khusus untuk melakukan transplantasi lamun dengan menggunakan metode polybag ini. Prakiraan biaya

yang dibutuhkan untuk transplantasi lamun dengan metode polybag berkisar Rp. 100.000 – Rp. 200.000.



Gambar 41. Transplantasi Lamun Metode Polybag

Ekosistem perairan Indonesia saat ini banyak yang mengalami kerusakan yang dipicu adanya kegiatan manusia yang terlalu berlebihan. Salah satunya yaitu perairan Teluk Amahai yang mengalami kerusakan akibat adanya aktivitas nelayan yang mencari ikan disekitar padang lamun dan tidak sengaja merusak padang lamun tersebut. Perairan Teluk Amahai merupakan perairan yang terdiri dari Teluk Amahai bagian luar dan Teluk Amahai bagian dalam dimana Teluk Amahai memiliki potensi sumberdaya perairan dan memiliki fungsi sebagai pendukung kehidupan masyarakat yang berada di Teluk

Amahai. Talakua dan Rumengan (2020), terkait kondisi perairan Teluk Amahai seperti itu maka perlu diadakannya restorasi ekosistem lamun dengan melakukan transplantasi. Transplantasi lamun bertujuan untuk mengembalikan serta memperbaiki kondisi ekosistem lamun yang mengalami kerusakan.

Berdasarkan ilmuwan transplanatasi lamun merupakan hal yang penting terhadap keberlangsungan ekosistem lamun yang ada di perairan laut. Hasil dari adanya kegiatan transplantasi lamun yaitu dapat melakukan restorasi atau pengembalian kondisi atau keadaan suatu ekosistem lamun yang rusak menjadi ekosistem lamun yang tumbuh atau hidup kembali. Metode transplantasi yang digunakan harus disesuaikan dengan kondisi perairannya yang akan dilakukan transplantasi lamun agar hasil yang didapatkan bagus dan sesuai dengan yang diharapkan. Tingkat kelangsungan hidup lamun yang menggunakan metode transplantasi hasilnya rata-rata mengalami tingkat yang tinggi dan laju pertumbuhan lamun juga tinggi. Transplantasi lamun dirasa efektif dalam menghadapi kerusakan ekosistem lamun yang semakin hari mengalami peningkatan.

BAB VII

MONITORING, INDIKATOR KEBERHASILAN, DAN EVALUASI REHABILITASI EKOSISTEM LAUT

Dalam praktik rehabilitasi ekosistem laut, pertanyaan paling mendasar bukan hanya bagaimana menanam kembali, menenggelamkan struktur, atau memindahkan fragmen, tetapi bagaimana menilai bahwa intervensi tersebut benar-benar memulihkan proses ekologi, jasa ekosistem, dan manfaat sosial-ekonomi dalam jangka menengah sampai jangka panjang. Literatur restorasi mutakhir menegaskan bahwa proyek yang hanya menilai kelangsungan hidup awal organisme tidak cukup untuk menyatakan keberhasilan restorasi. Standar internasional menempatkan rehabilitasi dan restorasi sebagai proses bertahap yang harus dihubungkan dengan trajektori pemulihan ekosistem, atribut referensi, serta adaptasi manajemen yang berkelanjutan (Gann et al., 2019).

Kerangka evaluasi yang baik sekurang-kurangnya memadukan lima dimensi, yaitu kondisi biofisik awal, kesesuaian desain intervensi, kinerja biologis awal, pemulihan fungsi ekosistem, dan keberlanjutan tata kelola. Dengan kerangka seperti ini, suatu lokasi

transplantasi karang misalnya tidak hanya dinilai dari berapa persen fragmen yang masih hidup pada tahun pertama, tetapi juga dari perubahan kompleksitas habitat, rekrutmen alami, komposisi ikan karang, stabilitas substrat, dan berkurangnya tekanan lokal. Pendekatan serupa berlaku pada mangrove dan lamun, karena ketiganya merupakan ekosistem pesisir yang sangat dipengaruhi oleh hidrodinamika, kualitas perairan, konektivitas, dan tekanan antropogenik yang masih berlangsung (Bayraktarov et al., 2016).

Evaluasi keberhasilan perlu dimulai dari baseline yang kuat. Kesalahan yang sangat sering muncul pada proyek rehabilitasi adalah intervensi dilakukan segera setelah pengadaan bibit, bahan, atau struktur selesai, sementara pengukuran kondisi awal belum memadai. Akibatnya, perubahan yang terjadi setelah intervensi tidak dapat dibandingkan secara objektif. Baseline minimum mencakup data penutupan habitat, komposisi jenis, karakter substrat, hidrologi atau arus, kualitas air, tekanan pemanfaatan, dan kondisi sosial-kelola. Pada lokasi yang telah sangat terdegradasi, baseline juga perlu memuat bukti penyebab kerusakan agar intervensi tidak salah sasaran. Dalam restorasi mangrove, misalnya, kegagalan sangat sering terjadi ketika masalah utamanya adalah perubahan elevasi dan hidrologi, tetapi solusinya hanya berupa penanaman massal (Lewis, 2005).

➤ Prinsip Pengukuran Keberhasilan

Keberhasilan rehabilitasi tidak bersifat tunggal. Ia harus dibaca sebagai spektrum hasil yang bergerak dari pemulihan struktur menuju pemulihan fungsi. Gann et al. (2019) menempatkan penentuan tujuan, model referensi, atribut ekosistem, dan indikator sebagai bagian tak terpisahkan dari desain proyek. Dengan kata lain, indikator dipilih karena merepresentasikan tujuan, bukan karena mudah diukur saja.

Dalam konteks ekosistem laut, indikator struktural meliputi tutupan karang hidup, kerapatan mangrove, kerapatan tunas lamun, kekayaan jenis, dan tingkat kelangsungan hidup unit yang direhabilitasi. Indikator fungsional mencakup akresi sedimen, penjeratan partikel, penyimpanan karbon, rekrutmen organisme, penyediaan habitat pembesaran, serta perbaikan jaringan trofik. Indikator sosial dapat berupa keterlibatan masyarakat, kepatuhan terhadap aturan lokasi, efektivitas kelembagaan lokal, dan kontinuitas pendanaan pemeliharaan. Pengukuran yang hanya menekankan satu kelompok indikator sering menghasilkan klaim keberhasilan yang terlalu dini.

Secara metodologis, evaluasi yang lebih kuat menggunakan kombinasi desain before-after, kontrol-dampak, atau serial monitoring lintas musim. Pengukuran satu kali sesudah tanam sering gagal menangkap perubahan musiman, kejadian cuaca ekstrem, pemangsaan, sedimentasi, maupun bleaching. Pada rehabilitasi terumbu karang, monitoring jangka pendek

cenderung melebihkan keberhasilan karena fragmen yang bertahan pada bulan-bulan pertama belum tentu tetap stabil ketika menghadapi badai, gelombang tinggi, atau anomali suhu. Karena itu, pemantauan minimal dua sampai tiga tahun lebih relevan daripada evaluasi instan yang berbasis dokumentasi seremonial semata (Rinkevich, 2019).

➤ **Indikator Ekologis Utama pada Terumbu Karang, Mangrove, dan Lamun**

Pada terumbu karang, indikator utama dapat dikelompokkan menjadi indikator koloni target, indikator komunitas bentik, indikator habitat, dan indikator biota asosiasi. Kelompok pertama meliputi kelangsungan hidup fragmen, penambahan panjang atau luas koloni, dan tingkat fusi fragmen. Kelompok kedua mencakup tutupan karang hidup, rasio karang terhadap alga, kemunculan rekrut alami, dan perubahan komposisi life form. Kelompok ketiga melihat kekasaran substrat, stabilitas struktur, dan kompleksitas tiga dimensi yang menentukan daya dukung bagi ikan dan invertebrata. Kelompok keempat menilai kelimpahan ikan herbivor, ikan indikator, serta invertebrata penting yang berasosiasi dengan pemulihan habitat. Literatur terbaru juga menekankan pentingnya indikator fungsi, bukan hanya indikator tampak, agar rehabilitasi tidak berhenti pada penempelan fragmen di atas substrat (Rinkevich, 2019; Obura et al., 2019).

Pada mangrove, indikator paling mendasar meliputi kesesuaian hidrologi pasang surut, elevasi mikrotopografi, karakter tanah atau sedimen, kerapatan semai hingga pohon, komposisi spesies, dan tingkat regenerasi alami. Lewis (2005), restorasi mangrove yang berhasil hampir selalu berangkat dari perbaikan kondisi fisik-ekologis tapak, terutama hidrologi, bukan dari penanaman sebagai respons pertama. Oleh sebab itu, keberhasilan proyek mangrove perlu dibaca melalui tanda-tanda bahwa sistem kembali memungkinkan perekrutan alami, penahanan sedimen, dan pembentukan struktur tegakan yang sesuai dengan zonasi spesies. Di Asia Tenggara juga menegaskan bahwa *direct planting* terlalu dominan dalam praktik lapangan, padahal tidak selalu menjadi pilihan paling sesuai untuk semua tapak (Gerona-Daga & Salmo, 2022).

Pada lamun, indikator keberhasilan menuntut perhatian lebih besar terhadap pemilihan habitat. van Katwijk et al. (2009) dan van Katwijk et al. (2016) faktor tapak seperti kejernihan perairan, energi gelombang, stabilitas sedimen, dan tekanan gangguan lebih menentukan hasil dibanding teknik tanam yang dipromosikan secara umum. Oleh karena itu, indikator untuk lamun harus mencakup kerapatan tunas, pertumbuhan *horizontal rhizome*, luasan patch, kelangsungan hidup setelah periode energi gelombang tinggi, dan tanda-tanda ekspansi alami di luar titik tanam. Dalam jangka lebih panjang, indikator penting lainnya

ialah keterkaitan lamun dengan biota asosiasi, kejernihan air, dan akumulasi karbon pada sedimen.

Tabel 3. Matriks indikator minimum monitoring keberhasilan rehabilitasi ekosistem laut

Ekosistem	Indikator struktural	Indikator fungsional	Indikator sosial-kelola	Jangka ukur
Terumbu karang	Survival fragmen, tutupan karang hidup, rekrutmen	Kompleksitas habitat, ikan herbivor, rasio karang-alga	Patroli, kepatuhan zona, dukungan operator wisata	6 bulan-5 tahun
Mangrove	Kerapatan semai-pohon, komposisi jenis, regenerasi	Perbaikan hidrologi, penjeratan sedimen, fauna asosiasi	Hak kelola, partisipasi komunitas, pembagian manfaat	1-10 tahun
Lamun	Kerapatan tunas, luasan patch, stabilitas transplant	Kejernihan air, biota asosiasi, ekspansi alami, karbon	Pengawasan lokasi, pembatasan jangkar, pembiayaan	1-5 tahun

Matriks ini penting untuk menegaskan bahwa indikator tidak boleh berhenti pada ukuran survival. Program dengan survival tinggi namun tidak memulihkan fungsi, konektivitas, dan tata kelola tetap harus dinilai terbatas keberhasilannya.

➤ Desain Monitoring Adaptif

Monitoring adaptif adalah pendekatan evaluasi yang memungkinkan keputusan lapangan disesuaikan berdasarkan hasil pemantauan periodik. Pendekatan ini penting karena ekosistem laut bersifat dinamis, sangat dipengaruhi musim, dan rentan terhadap kejadian ekstrem. Dengan monitoring adaptif, data tidak diperlakukan sebagai arsip laporan, melainkan sebagai dasar perbaikan desain, penggantian metode, koreksi lokasi, dan penyesuaian intensitas pemeliharaan.

Secara operasional, monitoring adaptif dapat dibangun dalam empat tahap. Pertama, penetapan indikator inti dan ambang batas kinerja. Kedua, pengumpulan data berkala dengan protokol yang konsisten. Ketiga, evaluasi hasil dibanding baseline dan target antara. Keempat, pengambilan keputusan korektif. Misalnya, pada terumbu karang, ambang batas dapat berupa penurunan survival fragmen di bawah tingkat tertentu yang memicu evaluasi ulang terhadap stabilitas substrat atau kualitas lokasi. Pada mangrove, rendahnya regenerasi alami setelah rehabilitasi hidrologi dapat mendorong koreksi konektivitas pasang-surut atau penyesuaian mikro-topografi. Pada lamun, hilangnya transplant setelah musim gelombang dapat menunjukkan bahwa kegagalan terjadi karena mismatch habitat, bukan semata-mata kesalahan teknis penanaman (van Katwijk et al., 2009).

Monitoring adaptif juga perlu membuka ruang bagi data berbasis masyarakat. Pengamatan sederhana seperti keberadaan sampah, kejadian penjangkaran, aktivitas penangkapan destruktif, atau perubahan warna perairan sering kali memberikan sinyal dini yang tidak tertangkap melalui survei ilmiah berkala. Integrasi antara citizen monitoring dan survei ilmiah dapat memperkaya interpretasi hasil, selama kualitas data tetap dijaga melalui pelatihan, panduan, dan verifikasi.

➤ **Evaluasi Biaya, Efektivitas, dan Skala**

Penilaian rehabilitasi yang matang harus memasukkan dimensi biaya dan skala. Bayraktarov et al. (2016) biaya dan tingkat keberhasilan restorasi berbeda antar-ekosistem, dan restorasi pesisir-laut secara umum masih didominasi proyek kecil dengan durasi relatif pendek. Hal ini relevan untuk konteks Indonesia, karena banyak proyek berjalan dengan siklus pendanaan tahunan, sementara pemulihan ekosistem memerlukan horizon waktu yang lebih panjang.

Analisis biaya tidak cukup dilakukan sebagai laporan anggaran serapan. Yang lebih penting ialah biaya per unit hasil ekologi. Pada terumbu karang, biaya dapat dinilai per meter persegi habitat yang kembali stabil atau per koloni yang bertahan sampai beberapa musim. Pada mangrove, biaya lebih relevan dinilai terhadap luasan tapak yang kembali pulih secara hidrologis dan mampu merekrut propagul secara alami. Pada lamun, biaya perlu

dikaitkan dengan luasan patch yang bertahan dan berkembang, bukan hanya jumlah unit tanam awal.

Perbandingan efektivitas antarmetode juga perlu hati-hati. Metode yang murah belum tentu efisien bila tingkat kegagalannya tinggi. Sebaliknya, metode yang tampak mahal dapat menjadi lebih rasional jika memiliki tingkat keberlangsungan tinggi, kebutuhan pemeliharaan lebih rendah, dan potensi replikasi lebih baik. Dengan demikian, evaluasi proyek seharusnya menghasilkan rasio antara biaya, survival, fungsi ekosistem, dan potensi skalabilitas.

➤ **Kesalahan Evaluasi yang Paling Sering Terjadi**

- a. Mengklaim keberhasilan hanya berdasarkan kelangsungan hidup awal tanpa membandingkan dengan model referensi;
- b. Menggunakan indikator yang tidak selaras dengan tujuan rehabilitasi;
- c. Tidak membedakan antara keberhasilan teknis jangka pendek dan pemulihan ekologis jangka menengah;
- d. Mengabaikan kegagalan lokasi, hidrologi, atau kualitas perairan dan menyederhanakannya menjadi kekurangan bibit;
- e. Tidak menyediakan kontrol atau lokasi pembanding;
- f. Menghentikan monitoring ketika proyek administratif selesai, padahal trajektori pemulihan belum terbaca.

Daftar kesalahan di atas menjelaskan mengapa buku referensi harus menempatkan monitoring sebagai inti, bukan lampiran. Dalam banyak kasus, rehabilitasi gagal bukan karena metode secara teoritis buruk, tetapi karena ukuran keberhasilan didefinisikan secara terlalu sempit dan terlalu cepat. Oleh sebab itu, bab ini menegaskan bahwa monitoring adalah jembatan antara desain intervensi dan pembelajaran kebijakan.

Secara keseluruhan, keberhasilan rehabilitasi ekosistem laut harus dibaca melalui trajektori pemulihan. Istilah trajektori menekankan bahwa lokasi rehabilitasi mungkin belum sama dengan ekosistem rujukan dalam waktu singkat, tetapi menunjukkan arah perubahan yang benar, stabil, dan dapat dipertahankan. Pendekatan ini lebih ilmiah dan lebih jujur dibanding klaim sukses instan yang tidak ditopang data longitudinal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abelson, A., Halpern, B. S., Reed, D. C., Orth, R. J., Kendrick, G. A., Beck, M. W., Belmaker, J., Krause, G., Edgar, G. J., Airoidi, L., Brokovich, E., France, R., Shashar, N., Stambler, N., Salameh, P., & Nelson, P. A. (2016). Upgrading marine ecosystem restoration using ecological-social concepts. *BioScience*, 66(2), 156–163. <https://doi.org/10.1093/biosci/biv171>
- Alongi, D. M. (2008). Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.024>
- Alongi, D. M. (2014). Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science*, 6, 195-219. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>
- Baine, M. (2001). Artificial reefs: A review of their design, application, management and performance. *Ocean & Coastal Management*, 44(3-4), 241-259. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(01\)00048-5](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(01)00048-5)
- Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169-193. <https://doi.org/10.1890/10-1510.1>

- Bayraktarov, E., Saunders, M. I., Abdullah, S., Mills, M., Beher, J., Possingham, H. P., Mumby, P. J., & Lovelock, C. E. (2016). The cost and feasibility of marine coastal restoration. *Ecological Applications*, 26(4), 1055-1074. <https://doi.org/10.1890/15-1077>
- Bohnsack, J. A., & Sutherland, D. L. (1985). Artificial reef research: A review with recommendations for future priorities. *Bulletin of Marine Science*, 37(1), 11-39.
- Bosire, J. O., Dahdouh-Guebas, F., Walton, M., Crona, B. I., Lewis, R. R., Field, C., Kairo, J. G., & Koedam, N. (2008). Functionality of restored mangroves: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 251-259. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.03.010>
- Boström-Einarsson, L., Babcock, R. C., Bayraktarov, E., Ceccarelli, D., Cook, N., Ferse, S. C. A., Hancock, B., Harrison, P., Hein, M., Shaver, E., Smith, A., Suggett, D., Stewart-Sinclair, P. J., Vardi, T., & 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>
- Brown, B., Fadillah, R., Nurdin, Y., Soulsby, I., & Ahmad, R. (2014). Case study: Community based ecological mangrove rehabilitation (CBEMR) in Indonesia. *S.A.P.I.E.N.S*, 7(2), 1-12.
- Burkholder, J. M., Tomasko, D. A., & Touchette, B. W. (2007). Seagrasses and eutrophication. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 350(1-2), 46-72. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2007.06.024>

- Cabaitan, P. C., Gomez, E. D., & Aliño, P. M. (2008). Effects of coral transplantation and giant clam restocking on the structure of fish communities on degraded patch reefs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 357(1), 85–98. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.01.001>
- Carlton, J. T., & Geller, J. B. (1993). Ecological roulette: The global transport of nonindigenous marine organisms. *Science*, 261(5117), 78–82. <https://doi.org/10.1126/science.261.5117.78>
- Clewell, A. F., & Aronson, J. (2006). Motivations for the restoration of ecosystems. *Conservation Biology*, 20(2), 420–428. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00340.x>
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Crowe, T. P., Thompson, R. C., Bray, S., & Hawkins, S. J. (2000). Impacts of anthropogenic stress on rocky intertidal communities. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 7(4), 273–297. <https://doi.org/10.1023/A:1009911928100>

- Cullen-Unsworth, L., & Unsworth, R. (2013). Seagrass meadows, ecosystem services, and sustainability. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 55(3), 14-28. <https://doi.org/10.1080/00139157.2013.785864>
- Cushing, D. H., & Walsh, J. J. (1976). *The ecology of the seas*. Blackwell Scientific Publications.
- Darling, E. S., McClanahan, T. R., & Côté, I. M. (2013). Life histories predict coral community disassembly under multiple stressors. *Global Change Biology*, 19(6), 1930–1940. <https://doi.org/10.1111/gcb.12191>
- Dizon, R. M., Edwards, A. J., & Gomez, E. D. (2008). Comparison of three types of adhesives in attaching coral transplants to clam shell substrates. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 18(7), 1140–1148. <https://doi.org/10.1002/aqc.944>
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4(5), 293-297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>
- Done, T. J. (1982). Patterns in the distribution of coral communities across the central Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 1, 95–107. <https://doi.org/10.1007/BF00301691>

- Duke, N. C., Meynecke, J. O., Dittmann, S., Ellison, A. M., Anger, K., Berger, U., Cannicci, S., Diele, K., Ewel, K. C., Field, C. D., Koedam, N., Lee, S. Y., Marchand, C., Nordhaus, I., & Dahdouh-Guebas, F. (2007). A world without mangroves? *Science*, 317(5834), 41-42. <https://doi.org/10.1126/science.317.5834.41b>
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E. S., Ngo, H. T., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K. A., Butchart, S. H. M., Chan, K. M. A., Garibaldi, L. A., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S. M., Midgley, G. F., Miloslavich, P., Molnár, Z., Obura, D., Pfaff, A., Polasky, S., Purvis, A., Razzaque, J., Reyers, B., Roy Chowdhury, R., Shin, Y. J., Visseren-Hamakers, I. J., Willis, K. J., & Zayas, C. N. (2019). Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science*, 366(6471), eaax3100. <https://doi.org/10.1126/science.aax3100>
- Edwards, A. J., & Clark, S. (1999). Coral transplantation: A useful management tool or misguided meddling? *Marine Pollution Bulletin*, 37(8–12), 474–487. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00145-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00145-9)
- 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 Programme*.

- Ellison, A. M., Felson, A. J., & Friess, D. A. (2020). Mangrove rehabilitation and restoration as experimental adaptive management. *Frontiers in Marine Science*, 7, 327. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00327>
- Erftemeijer, P. L. A., & Lewis, R. R. R. (2006). Environmental impacts of dredging on seagrasses: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 52(12), 1553-1572. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.09.006>
- Eriander, L., Infantes, E., Olofsson, M., Olsen, J. L., & Moksnes, P.-O. (2016). Assessing methods for restoration of eelgrass (*Zostera marina* L.) in a cold temperate region. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 479, 76-88. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2016.03.005>
- Fonseca, M. S., Kenworthy, W. J., & Thayer, G. W. (1998). Guidelines for the conservation and restoration of seagrasses in the United States and adjacent waters. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 12. NOAA Coastal Ocean Office.
- Frias-Torres, S., van de Geer, C., Montoya-Maya, P. H., & Camargo, C. (2023). A low-tech method for monitoring survival and growth of coral transplants at a boutique restoration site. *PeerJ*, 11, e15062. <https://doi.org/10.7717/peerj.15062>

- Friess, D. A., Rogers, K., Lovelock, C. E., Krauss, K. W., Hamilton, S. E., Lee, S. Y., Lucas, R., Primavera, J., Rajkaran, A., & Shi, S. (2019). The state of the world's mangrove forests: Past, present, and future. *Annual Review of Environment and Resources*, 44, 89-115. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033302>
- Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., Hallett, J. G., Eisenberg, C., Guariguata, M. R., Liu, J., Hua, F., Echeverria, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K., & Dixon, K. W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology*, 27(S1), S1–S46. <https://doi.org/10.1111/rec.13035>
- Gerona-Daga, M. E. B., & Salmo, S. G. (2022). A systematic review of mangrove restoration studies in Southeast Asia: Challenges and opportunities for the United Nation's Decade on Ecosystem Restoration. *Frontiers in Marine Science*, 9, 987737. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.987737>
- Gilman, E. L., Ellison, J., Duke, N. C., & Field, C. (2008). Threats to mangroves from climate change and adaptation options: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 237-250. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.009>

- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J., & Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 154-159. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>
- Grech, A., Chartrand-Miller, K., Erftemeijer, P., Fonseca, M., McKenzie, L., Rasheed, M., Taylor, H., & Coles, R. (2012). A comparison of threats, vulnerabilities and management approaches in global seagrass bioregions. *Environmental Research Letters*, 7(2), 024006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/2/024006>
- Guest, J. R., Baria, M. V., Gomez, E. D., Heyward, A. J., & Edwards, A. J. (2014). Closing the circle: Is it feasible to rehabilitate reefs with sexually propagated corals? *Coral Reefs*, 33, 45–55. <https://doi.org/10.1007/s00338-013-1114-1>
- 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>
- Heck, K. L., Jr., Hays, G., & Orth, R. J. (2003). Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. *Marine Ecology Progress Series*, 253, 123-136. <https://doi.org/10.3354/meps253123>

- Hemminga, M. A., & Duarte, C. M. (2000). Seagrass ecology. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511525551>
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., Harvell, C. D., Sale, P. F., Edwards, A. J., Caldeira, K., Knowlton, N., Eakin, C. M., Iglesias-Prieto, R., Muthiga, N., Bradbury, R. H., Dubi, A., & Hatziolos, M. E. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318(5857), 1737–1742.
<https://doi.org/10.1126/science.1152509>
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1–23.
<https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- Hughes, T. P., Baird, A. H., Bellwood, D. R., Card, M., Connolly, S. R., Folke, C., Grosberg, R., Hoegh-Guldberg, O., Jackson, J. B. C., Kleypas, J., Lough, J. M., Marshall, P., Nyström, M., Palumbi, S. R., Pandolfi, J. M., Rosen, B., & Roughgarden, J. (2003). Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science*, 301(5635), 929–933.
<https://doi.org/10.1126/science.1085046>
- Jacob, C., Buffard, A., Pioch, S., & Thorin, S. (2018). Marine ecosystem restoration and biodiversity offset. *Ecological Engineering*, 120, 585–594.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.09.007>

- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Kairo, J. G., Dahdouh-Guebas, F., Bosire, J., & Koedam, N. (2001). Restoration and management of mangrove systems: A lesson for and from the East African region. *South African Journal of Botany*, 67(3), 383–389. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)31153-4](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)31153-4)
- Kathiresan, K., & Bingham, B. L. (2001). Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology*, 40, 81–251. [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(01\)40003-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(01)40003-4)
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 200 Tahun 2004 tentang Kriteria Baku Kerusakan dan Pedoman Penentuan Status Padang Lamun.
- Koeck, B., Tessier, A., Brind'Amour, A., Pastor, J., Bijaoui, B., Dalias, N., Astruch, P., Saragoni, G., & Lenfant, P. (2011). Functional differences between artificial and natural reefs: A case study along the French Catalan coast. *Aquatic Biology*, 13, 199–215.
- Lamont, T. A. C., Williams, B., Chapuis, L., Prasetya, M. E., Seraphim, M. J., Harding, H. R., May, E. B., Janetski, N., Jompa, J., Smith, D. J., & Radford, A. N. (2022). The sound of recovery: Coral reef restoration success is detectable in the soundscape. *Journal of Applied Ecology*, 59(3), 742–756.

- Lanuru, M., Supriadi, & Amri, K. (2013). Kondisi oseanografi perairan lokasi transplantasi lamun *Enhalus acoroides* Pulau Barrang Lompo, Kota Makassar. *Jurnal Mitra Bahari*, 7(1), 65-76.
- Lee, S. Y., Primavera, J. H., Dahdouh-Guebas, F., McKee, K., Bosire, J. O., Cannicci, S., Diele, K., Fromard, F., Koedam, N., Marchand, C., Mendelssohn, I., Mukherjee, N., & Record, S. (2008). Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: A reassessment. *Global Ecology and Biogeography*, 17(5), 590–599.
- Lewis, R. R. (2005). Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological Engineering*, 24(4), 403–418. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.10.003>
- Lewis, R. R., & Brown, B. (2014). Ecological mangrove rehabilitation: A field manual for practitioners. Mangrove Action Project.
- Lima, J. S., Zalmon, I. R., & Love, M. (2019). Overview and trends of ecological and socioeconomic research on artificial reefs. *Marine Environmental Research*, 145, 81–96.
- 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>

- Lovelock, C. E., Cahoon, D. R., Friess, D. A., Guntenspergen, G. R., Krauss, K. W., Reef, R., Rogers, K., Saunders, M. L., Sidik, F., Swales, A., Saintilan, N., Thuyen, L. X., & Triet, T. (2015). The vulnerability of Indo-Pacific mangrove forests to sea-level rise. *Nature*, 526(7574), 559-563. <https://doi.org/10.1038/nature15538>
- Ma, Z., Melville, D. S., Liu, J., Chen, Y., Yang, H., Ren, W., Zhang, Z., Piersma, T., & Li, B. (2014). Rethinking China's new great wall. *Science*, 346(6212), 912-914. <https://doi.org/10.1126/science.1257258>
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing.
- Martuti, N. K. T., Susilowati, S. M. E., Sidiq, W. A. B. N., & Mutiatari, D. P. (2018). Peran kelompok masyarakat dalam rehabilitasi ekosistem mangrove di pesisir Kota Semarang. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 6(2), 100-114. <https://doi.org/10.14710/jwl.6.2.100-114>
- Meng, W., Hu, B., He, M., Liu, B., Mo, X., Li, H., Wang, Z., & Zhang, Y. (2017). Temporal-spatial variations and driving factors analysis of coastal reclamation in China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 191, 39-49. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.04.008>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press.

- Moberg, F., & Folke, C. (1999). Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 29(2), 215–233. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00009-9)
- Molnar, J. L., Gamboa, R. L., Revenga, C., & Spalding, M. D. (2008). Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(9), 485–492. <https://doi.org/10.1890/070064>
- Murray, N. J., Clemens, R. S., Phinn, S. R., Possingham, H. P., & Fuller, R. A. (2014). Tracking the rapid loss of tidal wetlands in the Yellow Sea. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(5), 267–272. <https://doi.org/10.1890/130260>
- Mustaromin, E., Apriadi, T., & Kurniawan, D. (2019). Transplantasi lamun *Enhalus acoroides* menggunakan metode berbeda di Perairan Sebang Perekh Kecamatan Teluk Sebang Kabupaten Bintan. *Jurnal Akuatiklestari*, 3(1), 23-30. <https://doi.org/10.31629/akuatiklestari.v3i1.954>
- Nagelkerken, I., Blaber, S. J. M., Bouillon, S., Green, P., Haywood, M., Kirton, L. G., Meynecke, J.-O., Pawlik, J., Penrose, H. M., Sasekumar, A., & Somerfield, P. J. (2008). The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 155-185. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.007>

- Novianty, R., Sastrawibawa, S., & Prihadi, D. J. (2011). Identifikasi kerusakan dan upaya rehabilitasi ekosistem mangrove di Pantai Utara Kabupaten Subang. *Jurnal Akuatika*, 2(2), 1–9.
- Obura, D. O., Aeby, G., Amornthammarong, N., Appeltans, W., Bax, N., Bishop, J., Brainard, R. E., Chan, S., Fletcher, P., Gordon, T. A. C., Gramer, L., Gudka, M., Halas, J., Hendee, J., Hodgson, G., Kimura, T., Levy, J., Miloslavich, P., Chou, L. M., ... Wongbusarakum, S. (2019). Coral reef monitoring, reef assessment technologies, and ecosystem-based management. *Frontiers in Marine Science*, 6, 580. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00580>
- Omori, M., & Fujiwara, S. (Eds.). (2004). *Manual for restoration and remediation of coral reefs*. Nature Conservation Bureau, Ministry of the Environment, Japan.
- Orth, R. J., Carruthers, T. J. B., Dennison, W. C., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W., Heck, K. L., Hughes, A. R., Kendrick, G. A., Kenworthy, W. J., Olyarnik, S., Short, F. T., Waycott, M., & Williams, S. L. (2006). A global crisis for seagrass ecosystems. *BioScience*, 56(12), 987–996. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[987:AGCFSE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[987:AGCFSE]2.0.CO;2)
- Pace, M. L., Cole, J. J., Carpenter, S. R., & Kitchell, J. F. (1999). Trophic cascades revealed in diverse ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution*, 14(12), 483–488. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(99\)01723-1](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(99)01723-1)

- Pickett, S. T. A., & White, P. S. (Eds.). (1985). The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press.
- Precht, W. F. (Ed.). (2006). Coral reef restoration handbook. CRC Press.
- Primavera, J. H., & Esteban, J. M. A. (2008). A review of mangrove rehabilitation in the Philippines: Successes, failures and future prospects. *Wetlands Ecology and Management*, 16, 345–358. <https://doi.org/10.1007/s11273-008-9101-y>
- Primavera, J. H., Yap, W. G., Savaris, J. P., Loma, R. J. A., Moscoso, A. D. E., Coching, J. D., Montilijao, C. L., Poingan, R. P., & Tayo, I. D. (2012). Manual on community-based mangrove rehabilitation. Zoological Society of London.
- Riniatsih, I., & Endrawati, H. (2013). Pertumbuhan lamun hasil transplantasi jenis *Cymodocea rotundata* di Padang Lamun Teluk Awur Jepara. *Buletin Oseanografi Marina*, 2(1), 34-40.
- Rinkevich, B. (2019). The active reef restoration toolbox is a vehicle for coral resilience and adaptation in a changing world. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(7), 201. <https://doi.org/10.3390/jmse7070201>

- Rudianto. (2014). Analisis restorasi ekosistem wilayah pesisir terpadu berbasis co-management: Studi kasus di Kecamatan Ujung Pangkah dan Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik. *Research Journal of Life Science*, 1(1), 54–67.
<https://doi.org/10.21776/ub.rjls.2014.001.01.8>
- Sabater, M. G., & Yap, H. T. (2004). Long-term effects of induced mineral accretion on growth, survival and corallite properties of *Porites cylindrica* Dana. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 311(2), 355-374.
<https://doi.org/10.1016/j.jembe.2004.05.013>
- Shaver, E. C., & Silliman, B. R. (2017). Time to cash in on positive interactions for coral restoration. *PeerJ*, 5, e3499. <https://doi.org/10.7717/peerj.3499>
- Sherman, R. L., Gilliam, D. S., & Spieler, R. E. (2002). Artificial reef design: Void space, complexity, and attractants. *ICES Journal of Marine Science*, 59(suppl), S196-S200.
<https://doi.org/10.1006/jmsc.2001.1163>
- Society for Ecological Restoration. (2024). Standards of practice to guide ecosystem restoration: A contribution to the United Nations Decade on Ecosystem Restoration. Society for Ecological Restoration.
- Sousa, W. P. (1984). The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 15, 353–391.
<https://doi.org/10.1146/annurev.es.15.110184.002033>

- Spalding, M. D., McIvor, A. L., Beck, M. W., Koch, E. W., Moller, I., Reed, D. J., Rubinoff, P., Spencer, T., Tolhurst, T. J., Wamsley, T. V., van Wesenbeeck, B. K., Wolanski, E., & Woodroffe, C. D. (2014). Coastal ecosystems: A critical element of risk reduction. *Conservation Letters*, 7(3), 293–301.
- Suding, K. N., Gross, K. L., & Houseman, G. R. (2004). Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 19(1), 46–53.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2003.10.005>
- Talakua, C., & Rumengan, Y. (2020). Pertumbuhan lamun hasil transplantasi *Enhalus acoroides* di Padang Lamun Teluk Amahai. *Jurnal Biosilampari: Jurnal Biologi*, 2(2), 52-57.
<https://doi.org/10.31540/biosilampari.v2i2.896>
- Thomas, N., Lucas, R., Bunting, P., Hardy, A., Rosenqvist, A., & Simard, M. (2017). Distribution and drivers of global mangrove forest change, 1996-2010. *PLOS ONE*, 12(6), e0179302.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179302>
- Umroh, U., & Utami, E. (2014). Efficiency of seagrass transplantation method at tin post mining area in Teluk Beach Bangka Regency. *Akuatik: Jurnal Sumberdaya Perairan*, 8(2), 1-7.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil.

- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- UNEP & Nairobi Convention. (2020). Guidelines on seagrass ecosystem restoration for the Western Indian Ocean region. United Nations Environment Programme.
- Unsworth, R. K. F., Nordlund, L. M., & Cullen-Unsworth, L. C. (2019). Seagrass meadows support global fisheries production. *Conservation Letters*, 12(1), e12566. <https://doi.org/10.1111/conl.12566>
- Valiela, I., Bowen, J. L., & York, J. K. (2001). Mangrove forests: One of the world's threatened major tropical environments. *BioScience*, 51(10), 807-815. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0807:MFOOTW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0807:MFOOTW]2.0.CO;2)
- van Katwijk, M. M., Bos, A. R., de Jonge, V. N., Hanssen, L. S. A. M., Hermus, D. C. R., & de Jong, D. J. (2009). Guidelines for seagrass restoration: Importance of habitat selection and donor population, spreading of risks, and ecosystem engineering effects. *Marine Pollution Bulletin*, 58(2), 179-188. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.09.028>

- van Katwijk, M. M., Thorhaug, A., Marba, N., Orth, R. J., Duarte, C. M., Kendrick, G. A., Althuizen, I. H. J., Balestri, E., Bernard, G., Cambridge, M. L., Cunha, A., Durance, C., Giesen, W., Han, Q., Hosokawa, S., Kiswara, W., Komatsu, T., Lardicci, C., Lee, K.-S., ... Verduin, J. J. (2016). Global analysis of seagrass restoration: The importance of large-scale planting. *Journal of Applied Ecology*, 53(2), 567-578. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12562>
- Veron, J. E. N. (2000). *Corals of the world*. Australian Institute of Marine Science.
- Vivier, B., Dauvin, J. C., Navon, M., Rusig, A. M., Mussio, I., Orvain, F., Boutouil, M., Claquin, P., Garcia, C., Gernez, P., de Roton, G., & Bacq, N. (2021). Marine artificial reefs, a meta-analysis of their design, objectives and effectiveness. *Ocean & Coastal Management*, 203, 105511. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105511>
- Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J. B., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S., Calladine, A., Fourqurean, J. W., Heck, K. L., Hughes, A. R., Kendrick, G. A., Kenworthy, W. J., Short, F. T., & Williams, S. L. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(30), 12377–12381. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905620106>

- Wilson, S. K., Graham, N. A. J., Pratchett, M. S., Jones, G. P., & Polunin, N. V. C. (2006). Multiple disturbances and the global degradation of coral reefs: Are reef fishes at risk or resilient? *Global Change Biology*, 12(11), 2220–2234. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01252.x>
- Wiratama, I. G. N. M. (2021). Metode transplantasi padang lamun di Indonesia. *Jurnal Ecocentrism*, 1(1), 18-28.
- Wu, W., Yang, Z., Tian, B., Huang, Y., Zhou, Y., & Zhang, T. (2018). Impacts of coastal reclamation on wetlands: Loss, resilience, and sustainable management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 210, 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.06.013>
- Wulandari, D., Riniatsih, I., & Yudiati, E. (2013). Transplantasi lamun *Thalassia hemprichii* dengan metode jangkar di Perairan Teluk Awur dan Bandengan, Jepara. *Journal of Marine Research*, 2(2), 30-38. <https://doi.org/10.14710/jmr.v2i2.2347>
- Yap, H. T. (2004). Differential survival of coral transplants on various substrates under elevated water temperatures. *Marine Pollution Bulletin*, 49(4), 306–312. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.02.017>
- Yap, H. T., Alvarez, R. M., Custodio, H. M., & Dizon, R. M. (1998). Physiological and ecological aspects of coral transplantation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 229(1), 69–84. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(98\)00041-0](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(98)00041-0)

- 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>
- Zhou, Y., Liu, P., Liu, B., Liu, X., Zhang, X., Wang, F., & Yang, H. (2014). Restoring eelgrass (*Zostera marina* L.) habitats using a simple and effective transplanting technique. *PLOS ONE*, 9(4), e92982. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092982>

INDEKS ISTILAH PILIHAN

Adaptive management/manajemen adaptif: mekanisme pengelolaan yang menyesuaikan tindakan berdasarkan hasil monitoring berkala.

Baseline: kondisi awal yang dijadikan pembanding untuk menilai perubahan sesudah intervensi.

Benefit-sharing: pembagian manfaat yang adil kepada para pemangku kepentingan yang terlibat atau terdampak.

Blue carbon: cadangan karbon yang tersimpan pada ekosistem pesisir-laut seperti mangrove dan lamun.

Coral gardening: pendekatan rehabilitasi karang melalui pembibitan atau nursery dan transplantasi bertahap.

Donor site: lokasi sumber propagul, fragmen, atau material biologis yang dipakai untuk rehabilitasi.

Ecosystem function/fungsi ekosistem: proses ekologis yang menopang jasa ekosistem, stabilitas, dan produktivitas.

Ecological engineering/rekayasa ekologis: perbaikan proses fisik-biologis tapak agar pemulihan ekosistem menjadi mungkin.

Habitat suitability/kesesuaian habitat: tingkat kecocokan suatu lokasi untuk mendukung keberhasilan intervensi.

Indicator/indikator: ukuran yang digunakan untuk menilai kemajuan atau keberhasilan program rehabilitasi.

Mangrove hydrology/hidrologi mangrove: dinamika pasang-surut, aliran, dan elevasi yang memengaruhi pertumbuhan mangrove.

Monitoring longitudinal: pemantauan berulang dalam rentang waktu yang cukup untuk membaca trajektori perubahan.

Reference model/model referensi: gambaran kondisi ekosistem yang dijadikan acuan arah pemulihan.

Recruitment/rekrutmen alami: masuknya individu baru secara alami ke dalam populasi atau komunitas yang dipulihkan.

Rehabilitation/rehabilitasi: upaya pemulihan yang menekankan pemulihan fungsi atau nilai tertentu, meskipun belum sepenuhnya kembali ke kondisi referensi.

Restoration/restorasi: upaya memulihkan ekosistem mendekati kondisi rujukan secara struktur, komposisi, dan fungsi.

Scalability/skalabilitas: kemampuan pendekatan untuk diperluas penerapannya tanpa kehilangan kualitas utama.

Seagrass patch/patch lamun: petak atau hamparan lamun yang dapat digunakan sebagai unit pengamatan dalam rehabilitasi.

Social-ecological system/sistem sosial-ekologis: cara pandang yang melihat manusia dan ekosistem sebagai sistem yang saling terkait.

Survival rate/tingkat kelangsungan hidup: proporsi individu, fragmen, atau unit tanam yang tetap hidup pada periode tertentu.

Trajectory/trajektori pemulihan: arah perubahan dari kondisi awal menuju kondisi yang diharapkan.

Transplant unit/unit transplant: fragmen, bibit, atau rumpun yang dipindahkan dan ditanam pada lokasi rehabilitasi.

BIODATA PENULIS



Prof. Wahyu Andy Nugraha, S.T., M.Sc., Ph.D.

Penulis merupakan akademisi dan peneliti di bidang Ilmu Kelautan, dengan kepakaran utama pada ekologi laut, ekologi lingkungan pesisir, terumbu karang, ikan karang, dan pengelolaan sumber daya pesisir. Beliau menempuh pendidikan Sarjana Ilmu Kelautan di Universitas Diponegoro, Magister Fisheries Biology di University of the Philippines Visayas, serta Program Doktor di School of Marine Science and Technology, Newcastle University, United Kingdom. Sebagai dosen dan guru besar di Universitas Trunojoyo Madura, beliau aktif dalam kegiatan pendidikan, penelitian, publikasi ilmiah, serta pengembangan kajian ekosistem pesisir dan laut.



Prof. Insafitri, S.T., M.Sc., Ph.D.

Penulis merupakan akademisi dan peneliti di bidang Biologi Laut, dengan perhatian keilmuan pada biologi lingkungan pesisir dan laut, ekologi laut, terumbu karang, ikan karang, serta kajian organisme laut. Beliau menyelesaikan pendidikan Sarjana Ilmu Kelautan di Universitas Diponegoro, Magister Fisheries Biology di University of the Philippines Visayas, dan Pro-gram Doktor di bidang Marine Dynamic di Kanazawa University, Jepang. Sebagai guru besar dan dosen Ilmu Kelautan Universitas Trunojoyo Madura, beliau aktif dalam pendidikan, penelitian, dan pengembangan ilmu kelautan, khususnya yang berkaitan dengan konservasi dan keberlanjutan ekosistem laut.