MENGENAL PEREKAYASA EKOSISTEM

Oleh

Allsay Kitsash Addifisyukha Cintra¹⁾

ABSTRACT

UNDERSTANDING THE ECOSYSTEM ENGINEERS. *Ecosystem engineers are organisms that can create, destroy or even maintain the sustainability of a particular habitat. The process of ecosystem engineering begins with structural changes in the environment and subsequently change the abiotic the biotic term or the existence of other organisms. Ecosystem engineers are divided into two, namely autogenic and allogenic engineers. Autogenic engineers change the habitat condition by shifting their body conditions, whereas allogenic engineers that can directly change habitat conditions. The impact of ecosystem engineers on the environment is determined by the magnitude and duration of structural changes made or abandoned by the ecosystem engineer. Understanding the concept of ecosystem engineering is useful as one of the efforts to restore habitat and conservation acts.*

Keywords: Ecosystem engineers, autogenic, allogenic.

PENDAHULUAN

Perekayasa ekosistem (*ecosystem engineer*) pertama kali dikenalkan oleh Jones *et al.* (1994), didefinisikan sebagai organisme yang secara langsung maupun tidak langsung mengatur ketersediaan sumber daya untuk spesies lain dengan mengubah kondisi fisik materi biotik atau abiotik dengan cara memodifikasi, mempertahankan, dan/atau menciptakan habitat. Bersamaan dengan itu dikenal juga istilah proses rekayasa ekosistem (*ecosystem engineering*), yaitu kegiatan yang dilakukan oleh perekayasa ekosistem. Selanjutnya Jones *et al.* (1997) menambahkan kata *physical* pada istilah perekayasa ekosistem, sehingga menjadi *physical ecosystem engineer* karena perubahan yang disebabkan oleh perekayasa ekosistem dimulai dari perubahan fisik perekayasa dan/atau perubahan fisik lingkungan. Tulisan ini

selanjutnya akan menggunakan perekayasa untuk mengacu pada organisme yang merekayasa ekosistem.

Konsep perekayasa ekosistem awalnya digunakan untuk mendefinisikan dan mengidentifikasi peran organisme dalam menciptakan dan memelihara habitat tanpa adanya hubungan trofik antar organisme. Jones *et al.* (1994) menambahkan, apabila organisme menyediakan sumber daya (baik jaringan hidup atau mati organisme tersebut) secara langsung kepada organisme lain, maka tidak termasuk dalam kategori perekayasa ekosistem, tetapi bagian ekologi kontemporer lainnya (hubungan predasi, jaring makanan, dan proses dekomposisi). Salah satu contoh populer dari perekayasa adalah berang berang yang mampu mengubah habitat sungai dengan cara membangun bendungan dan mengakibatkan dampak domino bagi kondisi abiotik dan biotik habitat asalnya. Tulisan ini akan

¹⁾ Pusat Penelitian Oseanografi LIPI

menjelaskan tentang konsep perekayasa ekosistem, cara mengenali perekayasa ekosistem, dan manfaat memahami konsep perekayasa ekosistem terutama di daerah pesisir dan lautan.

PEMBAGIAN PEREKAYASA EKOSISTEM

Karakteristik penting dari rekayasa ekosistem adalah harus mengubah ketersediaan (kualitas, kuantitas, dan distribusi) dari sumber daya yang digunakan oleh organisme lain. Perekayasa ekosistem dibagi menjadi dua yaitu perekayasa *autogenic* dan perekayasa *allogenic*. Perekayasa *autogenic* mengubah lingkungan melalui struktur fisik dari perekayasa sendiri, baik dengan jaringan hidup perekayasa (contoh: *kelp forest*) maupun dengan jaringan mati perekayasa (contoh: terumbu karang). Perekayasa *allogenic* mengubah lingkungan dengan mengubah materi biotik dan abiotik dari satu keadaan fisik ke keadaan fisik yang lain secara mekanis atau dengan cara lain contohnya berang berang (Jones *et al.*, 1997, 1994). Klasifikasi organisme sebagai perekayasa dijelaskan oleh Jones *et al.* (1994) dalam beberapa contoh skema yang terdapat pada Gambar 1.

Skema kasus pertama (Gambar 1a), dicontohkan oleh terumbu karang sebagai sumber langsung penyedia makanan dan tempat hidup organisme yang berasosiasi, namun produksi dari jaringan terumbu karang tersebut tidak dapat dikatakan sebagai rekayasa ekosistem. Karena terumbu karang pada kasus ini tidak mengubah kondisi lingkungan. Pada Gambar 1b perkembangan terumbu karang yang menyebabkan perubahan struktur fisik lingkungan. Perubahan ini mengubah lingkungan sekitar dan mengatur distribusi

dan kelimpahan sumber daya lain contohnya dengan mengatur kecepatan arus, laju pendangkalan, dan lain lain. Pada contoh kedua ini merupakan bentuk dari rekayasa ekosistem *autogenic*.

Contoh skema ketiga (Gambar 1c) merupakan gambaran perekayasa *allogenic* yang mengubah kondisi fisik lingkungan dari satu keadaan ke keadaan baru sehingga menyediakan sumber daya bagi organisme lain. Contoh dari skema tersebut adalah tingkah laku aligator (*Alligator mississippiensi*) yang membuat kubangan yang kemudian berfungsi sebagai cadangan air saat musim kemarau, serta menyediakan tempat perlindungan bagi ikan (Finlayson & Moser dalam Jones *et al.*, 1994). Pada kasus ini kubangan merupakan sumber daya yang dihasilkan oleh aligator.

Organisme perekayasa dalam contoh skema keempat (Gambar 1d) merupakan perekayasa *allogenic* yang mengambil materi dari lingkungan dan mengubah kondisi fisik lingkungan tersebut. Perubahan ini lalu mengatur suplai sumber daya yang akan mempengaruhi organisme lain, contohnya adalah berang-berang yang mengambil kayu dari pohon dan mengubahnya menjadi potongan kayu mati untuk membangun bendungan, sehingga membentuk sebuah kolam. Kolam hasil bendungan berang berang ini yang akan berpengaruh terhadap rangkaian aliran sumber daya yang digunakan oleh organisme lain. Jones *et al.* (1994) menjelaskan bahwa langkah penting dari proses rekayasa *allogenic* yang disebabkan berang berang adalah perubahan pohon dari keadaan pertama (pohon hidup) ke keadaan kedua (bendungan). Perubahan tersebut mengatur suplai dari sumber daya khususnya air, sedimen, nutrisi dan lain-lain.

Gambar 1. Contoh skema organisme sebagai perkeyasa ekosistem Jones *et al.* (1994).

Karakteristik penting dari perekayasa ekosistem adalah mampu mengubah ketersediaan (kualitas, kuantitas dan distribusi) dari sumber daya yang dimanfaatkan oleh organisme lain, namun tidak termasuk dari biomassa yang disediakan secara langsung oleh

perekayasa. Proses rekayasa bukan merupakan penyediaan sumber daya secara langsung, misal seperti buah, daun, daging ataupun bangkai. Pada kasus ini berang-berang bukan merupakan penyedia langsung dari sumber daya air melainkan hasil dari bendungan aliran sungai.

Contoh skema kelima (Gambar 1e) sama seperti contoh skema kedua sedangkan skema keenam (Gambar 1f) sama dengan skema keempat, hanya saja skema kelima dan keenam mampu mempengaruhi faktor abiotik yang memiliki dampak yang besar seperti kebakaran hutan/ladang dan badai/gelombang. Pada skema kelima (Gambar 1e), menggambarkan proses rekayasa *autogenic* yang mampu mempengaruhi faktor abiotik yang memiliki energi/dampak yang besar sehingga mempengaruhi perubahan aliran sumber dayabagi organisme lain. Pada skema ini contohnya adalah alga *Porolithon* yang tumbuh bersama detritus dan membentuk *alga ridge*. *Alga ridge* tersebut mampu memecah air dan melindungi karang dari gelombang. Dalam skema ini, alga *Porolithon* berperan sebagai perekayasa *autogenic*.

Pada skema keenam (Gambar 1f) proses rekayasa *allogenic* mempengaruhi faktor abiotik yang memiliki energi/dampak besar, sehingga mempengaruhi aliran-aliran sumber daya untuk organisme spesies lain. Pada skema ini contohnya adalah kerang bergaris *Geukensia demissa* menyekresikan benang-benang filamen yang mengikat dan melindungi sedimen, mencegah terjadinya erosi dan gangguan fisik dari badai (yang merupakan faktor abiotik dengan energi/dampak besar). Kestabilan sedimen dari hasil rekayasa kerang *G demissa* akan memengaruhi keberadaan organisme lain (Jones *et al.*, 1994)

PENENTUAN PEREKAYASA EKOSISTEM

Tidak semua organisme adalah perekayasa, hanya organisme yang secara langsung menyebabkan perubahan

struktural dalam lingkungan abiotik yang bisa disebut perekayasa ekosistem (Cuddington *et al.*, 2007). Dampak dari perekayasa ekosistem bergantung pada skala spasial dan temporal dari tindakannya. Terdapat enam faktor untuk mengukur dampak perekayasa (Jones *et al.*, 1997):

1. Masa hidup per aktivitas kapita dari individual organisme perekayasa;
2. Kepadatan populasi perekayasa;
3. Distribusi spasial dari populasi perekayasa baik secara lokal maupun regional;
4. Lamanya populasi perekayasa berada di suatu daerah;
5. Daya tahan dari kontruksi, artefak, (bentuk perubahan struktural yang ditinggalkan) dan dampak saat tidak adanya perekayasa; dan
6. Jumlah dan jenis sumber daya yang dikontrol secara langsung maupun tidak langsung, cara sumber daya tersebut dikontrol dan jumlah dari organisme lain yang bergantung pada sumber daya tersebut.

Dari keenam faktor di atas, semakin tinggi nilainya maka semakin besar kondisi lingkungan yang diubah maka mengindikasikan bahwa organisme tersebut adalah perekayasa. Jones *et al.* (1994) menjelaskan bahwa organisme dengan efek per kapita yang besar, hidup bersama dengan kepadatan yang tinggi, di wilayah yang luas untuk waktu yang lama, sehingga mampu menimbulkan struktur yang bertahan selama ribuan tahun (bila tanpa adanya gangguan), dan memengaruhi banyak aliran sumber daya seperti terumbu karang, maka akan memiliki dampak rekayasa yang besar.

Perekayasa bisa berukuran besar ataupun kecil asalkan memiliki beberapa faktor di atas maka akan mampu memberi dampak terhadap lingkungan. Organisme

berukuran kecil yang dapat memiliki dampak yang besar. Hal ini dapat dilihat dari meifauna penggali, yang hidup dengan kepadatan tinggi di wilayah yang luas pada waktu yang lama, akan mengubah kondisi sedimen habitatnya dan berpengaruh pada organisme lain (Jones *et al.*, 1994).

Perekayasa memiliki dampak yang lebih besar ketika aliran sumber daya yang mereka modifikasi digunakan oleh banyak spesies lain atau ketika perekayasa memodifikasi faktor abiotik yang berdampak bagi spesies lain. Perekayasa ekosistem yang memberikan pengaruh terhadap tanah, sedimen, batuan, hidrologi, kebakaran, dan badai memiliki peran yang sangat penting. Pada saat perekayasa hilang maka habitat perekayasa akan berubah dan organisme yang bergantung pada perekayasa juga akan hilang (Jones *et al.*, 1994).

Pada konsep rekayasa ekosistem terdiri dari dua interaksi, yaitu 1) proses rekayasa ekosistem dan 2) konsekuensi rekayasa ekosistem (Cuddington *et al.*, 2007). Proses rekayasa ekosistem adalah cara organisme mengubah lingkungan abiotik dan mencakup semua pengaruh fisik organisme pada lingkungan abiotik melalui perubahan struktural (melalui *autogenic* atau *allogenic*) terlepas perubahan abiotik memiliki efek biotik atau tidak. Konsekuensi rekayasa ekosistem adalah efek biotik dari proses rekayasa terhadap spesies lain maupun perekayasa sendiri (Gutiérrez *et al.*, 2012).

Komponen dari rekayasa ekosistem adalah perekayasa, struktur (yang diubah), faktor biotik dan abiotik yang dihubungkan oleh hubungan sebagai berikut:

1. Perekayasa atau organisme yang menyebabkan perubahan struktural;
2. Perubahan struktural yang menyebabkan perubahan abiotik; dan

3. Perubahan abiotik yang menyebabkan perubahan biotik.

Untuk memahaminya, contohnya adalah makrofita ekosistem pesisir (mangrove dan lamun). Makrofita pesisir menyebabkan peningkatan kelimpahan dan keragaman epibentik. Perubahan strukturalnya adalah dengan menciptakan luasan permukaan dari bagian tubuhnya untuk tempat hidup organisme epibentik. Perubahan abiotiknya adalah meningkatnya kelimpahan dan keragaman permukaan yang dapat dikolonisasi epibentik dan peningkatan daerah zonasi. Perubahan biotiknya adalah peningkatan kelimpahan dan keragaman untuk epibentik (Gutiérrez *et al.*, 2012).

PEREKAYASA EKOSISTEM DI DAERAH PESISIR

Perekayasa ekosistem sangat penting dalam mempertahankan struktur dan fungsi komunitas dalam suatu habitat, sehingga perlu dilakukan tindakan pencegahan agar perekayasa tidak hilang. Di daerah pesisir yang sangat rentan terhadap perubahan akibat pembangunan, maka sangat diperlukan mengenal perekayasa ekosistem dan dampaknya bagi lingkungan/habitat (Caro, 2010). Perekayasa ekosistem mayor di daerah pesisir adalah mangrove, lamun, *kelp*, dan makroalga lain, terumbu karang, bivalvia pembentuk terumbu, krustasea penggali, infauna, dune plant, dan tidal marsh plant. Perekayasa tersebut mayor karena memiliki dampak pada proses sedimentasi, melindungi pesisir, dan memodifikasi habitat untuk tempat organisme lain. Pada contoh perekayasa ekosistem tersebut dijelaskan pula (Tabel 1) perubahan struktural, abiotik, dan biotik yang terjadi (Gutiérrez *et al.*, 2012).

Tabel 1. Perekayasa ekosistem pesisir dan mekanisme dalam merekayasa habitat (Gutiérrez *et al.*, 2012).

Perubahan struktural	Perubahan Abiotik	Perubahan biotik	Perekayasa ekosistem
Menciptakan dan memelihara struktur fisik <i>emergent</i> di daerah pesisir	Melindungi dari gelombang badai dan dampak angin, menurunkan erosi garis pantai, dan melindungi ekosistem di daratan		Mangrove, terumbu karang, tanaman rawa air asin, lamun, rumput pantai
Menciptakan ruang kosong dalam sedimen intertidal karena adanya liang makrofaunal	Meningkatkan terjadinya erosi akibat dari peningkatan area yang terpapar oleh aliran air. Dalam kasus daerah intertidal yang curam, bisa terjadi longsor		Kepiting, isopoda, udang, dan organisme penggali intertidal lainnya
Mengikat partikel sedimen melalui sekresi lendir.	Meningkatkan kekuatan sedimen dan ketahanan terhadap erosi		Polychaetes, amphipoda, diatom.
Membuat lubang di batu, kerang, atau karang dengan membor	Meningkatkan potensi untuk fragmentasi batuan, kerang, atau karang, dan pelepasan partikel sedimen.		Bivalvia, anemon, sipuncula (cacing kacang)
Menciptakan permukaan <i>epibenthic</i> secara autogenik	Meningkatnya kelimpahan dan keragaman permukaan yang dapat dikolonisasi, peningkatan zonasi.	Ketersediaan habitat untuk epibion.	Makrophita (<i>cordgrass</i> , lamun, dan mangrove), alga (misalnya <i>kelps</i>), karang, bivalvia, polychaeta, epibenthos <i>sessile</i> , beberapa epibenthos (gastropoda dan kepiting).
Terjadinya pencampuran sedimen, dan pemecahan sedimen	Mengurangi pengumpulan sedimen, stabilitas dan <i>shear strength</i> sedimen. Meningkatkan transport sedimen	Menurunnya kelimpahan organisme <i>filterfeeder</i> , epifauna <i>sessile</i> yang sedikit bergerak (<i>mobile</i>), dan infauna yang tinggal di permukaan.	Polychaeta, bivalvia, gastropoda.
Menghasilkan (bisa banyak atau sedikit) kontur permukaan basal yang kasar (lubang, galian) melalui penggalian sedimen atau mengebor batuan.	Meningkatkan kontur basal, meningkatkan ketersediaan rongga yang aman dari predator, dan menurunkan paparan ekstrem lingkungan (arus, suhu)	Meningkatnya jumlah <i>refugee species</i> yang mencari perlindungan	Benthos peliang (kepiting, udang, polychaeta, dan echinuran), organisme pengebor batu (bivalvia, anemon, dan sipunculida), <i>epibenthic deposit feeder</i> (kepiting dan holoturia), predator <i>epibenthic</i> yang memangsa infaunal (kepiting dan ikan)

Di ekosistem laut lepas salah satu perekayasa yang cukup menarik adalah paus abu abu/*gray whale (Eschrichtius robustus)*. Paus abu abu mencari amphipoda sebagai mangsanya dengan cara mengaduk sedimen dasar di laut Bering. Pengadukan sedimen ini meningkatkan kopling benthik-pelagik dengan cara membawa nutrient di dasar ke kolom perairan yang nantinya dapat dimanfaatkan oleh produsen. Pengaruh lain dari pengadukan sedimen yang dilakukan paus abu abu adalah mengubah topografi permukaan bawah laut Bering yang berpengaruh terhadap organisme benthik (Nelson *et al.*, 1987)

Beberapa perekayasa tidak hanya berpengaruh terhadap satu ekosistem, namun ada pula yang mampu mempengaruhi dua atau lebih ekosistem. Contoh dari perekayasa ini adalah beruang cokelat. Beruang cokelat (*Ursus arctos*) yang memiliki peran penting dalam menjembatani ekosistem riparian (ekosistem tepian sungai yang terkena banjir sungai) dan ekosistem laut melalui aliran nutrisi.

Beruang cokelat memiliki tingkah laku yang vital bagi keberlangsungan dua ekosistem tersebut. Beruang cokelat selalu membawa salmon hasil buruan dari sungai ke dalam hutan sebelum dimakan untuk menghindari konflik dengan beruang lainnya. Kemudian, beruang cokelat hanya memakan 25% dari tubuh salmon yang kaya akan lemak yaitu telurnya (beruang cokelat tidak memakan salmon jantan ataupun salmon yang telah bertelur), sisa tubuh salmon yang tidak dimakan ditinggalkan di daerah hutan, lalu beruang cokelat akan menangkap salmon kembali (Gende & Quinn, 2006).

Secara alami salmon setelah bertelur akan mati meskipun tidak

ditangkap oleh beruang cokelat, dan bangkainya akan dimakan oleh organisme lain dan sisa-sisa bangkai pada akhirnya akan kembali mengalir ke lautan. Adanya beruang cokelat yang menangkap salmon matang gonad dan meninggalkan sisa bangkainya di daerah riparian akan memberi kesempatan pada organisme lain baik hewan, tumbuhan, atau mikroba yang tidak memiliki akses dalam memanfaatkan salmon. Gende dan Quinn (2006) menyebut beruang cokelat sebagai perekayasa ekosistem (*ecosystem engineer*) yang mengalirkan nutrisi yang berasal dari laut ke ekosistem riparian.

FUNGSI MENGENALI PREKAYASA EKOSISTEM

Perekayasa ekosistem dapat digunakan untuk merestorasi habitat (Byers *et al.*, 2006). Penggunaan perekayasa ekosistem dalam restorasi akan meminimalisasi campur tangan dari manusia; lebih mudah, murah, berkelanjutan, dan terkadang hanya satu-satunya cara. Pada kasus ini contohnya adalah kasus Beruang cokelat di atas. Di daerah sungai Baker daerah Washington yang populasi salmon dan beruang cokelat menurun dengan drastis, bangkai salmon disebar di daerah riparian dengan menggunakan helikopter. Hal ini dilakukan untuk meniru proses alami siklus nutrisi yang terputus akibat penurunan populasi Beruang Cokelat. Selain memakan biota, usaha tersebut memerlukan kontrol dari manusia.

Perekayasa ekosistem juga dapat digunakan untuk mengkonservasi habitat (Crain & Bertness, 2006). Dampak positif yang ditimbulkan oleh perekayasa ekosistem antara lain: menjadikan perekayasa sebagai target konservasi

karena hanya dengan mengendalikan satu spesies, dan dapat memengaruhi seluruh komunitas. Menurut (Gutiérrez *et al.*, 2012), menggunakan perekayasa sebagai salah satu alat untuk pengelolaan berbasis ekosistem merupakan cara yang paling efektif dan efisien. Beberapa perekayasa memiliki pengaruh yang dominan terhadap ekosistem tersebut misalnya terumbu karang, mangrove dan lamun, sehingga perlindungan dan restorasi kepada perekayasa- perekayasa tersebut merupakan cara yang hemat dan efektif untuk menjamin keberadaan jasa dan fungsi ekosistem (Gutiérrez *et al.*, 2012).

Mangrove mampu membentuk habitat untuk bermacam macam spesies. Bila dilihat dari konsep perekayasa ekosistem misalnya sebagai daerah asuhan bagi juvenil spesies ikan maupun invertebrata. Tingginya kelimpahan juvenile ikan dan invertebrata di daerah mangrove karena 1) ketersediaan makanan yang tinggi. Mangrove dengan struktur yang dibuat oleh akar dan pohonnya sebagai sediment trap yang menjebak makanan bagi biota lain agar tidak langsung hanyut ke laut. 2) Rendahnya predasi dari pemangsa. Hal ini mangrove membentuk mikrohabitat berupa perairan dangkal yang memiliki kekeruhan tinggi sehingga membuat pemangsa tidak bisa berburu dengan baik. 3) Kompleksitas dari struktur fisik mangrove yaitu adanya akar nafas dan akar lainnya. (Beck, 2001). Juvenil lobster berduri (*Panulirus argus*) memiliki populasi yang tinggi di area mangrove karena akar akar mangrove memberikan tempat perlindungan bagi juvenil lobster berduri (*Panulirus argus*) dari pemangsanya (Acosta & IV, 1997). Mangrove berkontribusi terhadap 30% tangkapan ikan dan 100% tangkapan udang di Asia Tenggara (Ronnback, 1999).

Besarnya pengaruh perekayasa terhadap aliran sumber daya menunjukkan bahwa perekaya merupakan titik awal yang baik dalam upaya konservasi melalui manajemen berbasis ekosistem. Penanaman mangrove dapat dilakukan di daerah yang mangrovenya telah mengalami degradasi, sehingga biota lain yang berhubungan dengan mangrove dapat kembali ada. Penanaman mangrove tentunya akan lebih mudah daripada melakukan usaha budidaya untuk mengembalikan macam macam juvenile dari ikan dan invertebrata yang hilang di daerah tersebut.

Manajemen berbasis ekosistem dengan mengkonservasi perekayasa ekosistem dan daerah yang direkayasanya telah dilakukan di Laut Utara di bawah *European Habitats Directive* dan *The EU Marine Strategy Framework Directive* (Braeckman *et al.*, 2014). Berdasarkan kebijakan mereka untuk dalam mempertahankan keberlanjutan fungsi ekosistem di Laut Utara dipilih organisme yang memiliki aspek keragaman fungsional, yaitu yang mampu memengaruhi kondisi abiotik dan biotik lingkungannya yaitu spesies perekayasa. Perekayasa ekosistem yang hidup di dasar Lau Utara seperti *bulldozing* ekinodermata, udang pembuat liang dan *bio-irrigating* polikaeta merupakan sasaran konservasi karena memiliki peranan fungsional yang penting.

Suatu perekayasa dapat diintroduksi pada habitat lain untuk mengubah struktur komunitas di habitat tersebut sesuai dengan keinginan manusia (Gribben *et al.*, 2009). Studi dari Gribben *et al.* (2009) menyatakan bahwa interaksi antara perekayasa ekosistem asli dan perekayasa introduktif (perekayasa baru yang didatangkan dari habitat/kawasan lain) dapat mengatur keanekaragaman komunitas dan kelimpahan spesies. Adanya perekayasa

introduktif yaitu alga *Caulerpa taxifolia* menyebabkan perekayasa asli kerang *Anadara trapezia* hanya mengubur sebagian tubuhnya karena kondisi sedimen yang kekurangan oksigen. Hal ini membuat cangkang yang tidak terkubur menjadi substrat keras yang dimanfaatkan oleh epibion (organisme yang hidupnya menempel pada substrat). Karena itu kelimpahan dan keanekaragaman jenis epibion yang hidup bersama kerang *A trapezia* dan *C taxifolia* lebih tinggi daripada yang hidup hanya bersama *A trapezia*. Meskipun introduksi perekayasa ekosistem dapat dilakukan untuk memperbaiki habitat, namun dalam hal ini perlu diketahui interaksinya dengan spesies asli yang telah ada karena bisa menimbulkan dampak negatif bagi habitat dan spesies asli (Haram *et al.*, 2018).

PENUTUP

Pada dasarnya perekayasa ekosistem merupakan organisme yang memiliki nilai fungsional bagi habitatnya terlepas dari fungsinya secara trofik. Beberapa perekayasa ekosistem khususnya di ekosistem pesisir dan laut sudah banyak dipelajari dan dimasukkan dalam kebijakan oleh pemerintah maupun masyarakat lokal contohnya mangrove, padang lamun dan terumbu karang. Di sisi lain, masih banyak perekayasa yang belum diketahui jenis maupun fungsinya yang menyebabkan mereka tidak masuk dalam objek konservasi, misalnya kepiting penggali dan berbagai jenis dari infauna yang mampu mengubah kondisi sedimen benthik.

Mengenali perekayasa di suatu ekosistem sangat penting untuk kelangsungan ekosistem dan upaya konservasinya. Namun sayangnya, terkadang manusia baru mengetahuinya ketika

ekosistem sudah rusak, akibat ada spesies yang hilang baik karena overeksploitasi atau kerusakan habitat. Upaya untuk mengidentifikasi perekayasa ekosistem, memahami dampak perekayasa dalam ekosistem dan melindunginya merupakan tindakan yang lebih mudah dibandingkan menggantikan tugas dari perekayasa ekosistem tersebut. Pemahaman yang baik tentang konsep perekayasa ekosistem juga dapat memanipulasi perekayasa ekosistem dengan mengintroduksi ke habitat baru dalam upaya konservasi atau penyelamatan habitat.

DAFTAR PUSTAKA

- Acosta, C. A., & IV, M. J. B. (1997). Role of mangrove habitat as a nursery for juvenile spiny lobster, *Panulirus argus*, in Belize. *Marine Freshwater Research*, 48, 721–727.
- Braeckman, U., Rabaut, M., Vanaverbeke, J., Degraer, S., & Vincx, M. (2014). Protecting the Commons: The Use of Subtidal Ecosystem Engineers in Marine Management. *Aquatic Consent' Mar. Freshw. Ecosyst.* <https://doi.org/10.1002/aqc.2448>
- Byers, J. E., Cuddington, K., Jones, C. G., Talley, T. S., Hastings, A., Lambrinos, J. G., ... Wilson, W. G. (2006). Using ecosystem engineers to restore ecological systems. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 21(9), 493–500. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.06.002>
- Caro, T. (2010). *Conservation by Proxy: Indicator, umbrella, keystone, flagship, and other surrogate species*. Washington DC: Island Press.
- Crain, C. M., & Bertness, M. D. (2006). Ecosystem Engineering across

- Environmental Gradients : Implications for Conservation. *BioScience*, 56(March), 1–7. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)056](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)056)
- Cuddington, K., Byers, J. E., Wilson, W. G., & Hastings, A. (Eds.). (2007). *Ecosystem Engineers: Plants to Protists*. New York: Academic Press.
- Gende, S. M., & Quinn, T. P. (2006). The Fish and The Forest: Overview/Sea to Shore. *SCIENTIFIC AMERICAN*, 84–89. Retrieved from <https://www.scientificamerican.com/article/the-fish-and-the-forest-o/>
- Gribben, P., Byers, J., Clements, M., McKenzie, L. A., Steinberg, P. D., & Wright, J. T. (2009). Behavioural interactions between ecosystem engineers control community species richness. *Ecology Letters*, 12, 1127–1136. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01366.x>
- Gutiérrez, J. L., Jones, C. G., Byers, J. E., Arkema, K. K., Berkenbusch, K., Commiato, J. A., ... Wild, C. (2012). Physical Ecosystem Engineers and the Functioning of Estuaries and Coasts. In *Treatise on Estuarine and Coastal Science* (Vol. 7). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374711-2.00705-1>
- Haram, L. E., Kinney, K. A., Sotka, E. E., & Byers, J. E. (2018). Mixed effects of an introduced ecosystem engineer on the foraging behavior and habitat selection of predators. *Ecology*, 0(0), 1–12. <https://doi.org/10.1002/ecy.2495>
- Jones, C. G., Lawton, J. H., & Shachak, M. (1997). Positive and Negative Effects of Organisms as Physical Ecosystem Engineers. *Ecology*, 78(7), 1946–1957.
- Jones, C. G., Lawton, J. H., Shachak, M., Jones, C. G., Lawton, J. H., & Shachak, M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. *OIKOS*, 69(3), 373–386.
- Nelson, C. H., Johnson, K. R., & John H. Barber, J. (1987). Gray Whale And Walrus Feeding Excavation On The Bering Shelf, Alaska. *Journal of Sedimentary Petrology*, 57(3), 419–430.
- Ronnback, P. (1999). The ecological basis for economic value of seafood production supported by mangrove ecosystems. *Ecological Economics*, 29, 235–252.