BIOTURBATOR SEBAGAI PEREKAYASA EKOSISTEM DI PESISIR DAN LAUTAN

Allsay Kitsash Addifisyukha Cintra^{1*}

¹ Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Jl. Pasir Putih I, Ancol Timur, Jakarta Utara, 14430

*Alamat email: allsay.cintra@gmail.com

ABSTRACT

A bioturbator is a biota that can change sediment either directly or indirectly through stirring particles and/or moving water. Changes in the sediment affect the resources that will affect the existence of other organisms. This paper aims to explain bioturbators and their roles as ecosystem engineers in coastal and marine environments. Bioturbators are classified into two main groups, namely reworking organisms and burrow ventilation organisms. Bioturbator affects the biogeochemistry of sediment and the sediment physical structure, both of which cause the formation of new habitats that can be used by other organisms. This, in turn, will affect the structure of the benthic community. It is necessary to understand how bioturbators work and how big their effect is so that they can be used for habitat conservation and restoration in the future.

Keywords: bioturbator, ecosystem engineer, sediment, biogeochemical.

PENDAHULUAN

Bioturbator merupakan istilah yang digunakan terhadap biota yang melakukan bioturbasi, sedangkan bioturbasi adalah aktivitas pengerjaan ulang (*reworking*) sedimen yang dilakukan oleh organisme (Meysman et al., 2006). Bioturbasi bisa terjadi baik di ekosistem darat maupun ekosistem akuatik. Perbedaan mekanisme bioturbasi pada kedua ekosistem adalah pada ekosistem akuatik organisme harus mengembangkan mekanisme untuk menghadapi kondisi dengan oksigen terbatas (Kristensen et al., 2012).

Pengamatan mengenai pengaruh organisme pada sedimen mulai diteliti oleh Charles Darwin dengan menggunakan cacing tanah, kapur dan abu. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa cacing tanah mampu membawa partikel tanah dari lapisan tanah yang dalam ke permukaan. (Meysman et al., 2006). Istilah bioturbator

kemudian pertama kali dicetuskan oleh Rudolf Richter pada tahun 1952 untuk menggambarkan struktur sedimen yang disebabkan oleh organisme hidup (Kristensen et al., 2012).

Kemampuan bioturbator mengubah kondisi sedimen akan mempengaruhi keberadaan organisme lain, sehingga bioturbator merupakan bagian dari perekayasa ekosistem (Jones & Lawson, 1995; Meysman et al., 2006). Tulisan ini bertujuan untuk menjelaskan bioturbator dan peranannya sebagai perekayasa ekosistem di ekosistem pesisir dan lautan beserta contoh bioturbator yang bisa ditemukan di Indonesia.

BIOTURBATOR DAN PERANANNYA DI EKOSISTEM

Pengelompokan Bioturbator

Pada lingkungan akuatik, bioturbasi adalah proses pengerjaan kembali sedimen

akuatik oleh organisme di sedimen yang meliputi aktifitas dari hewan penggali, sistem perakaran dari tanaman dan juga mikroba. Selain itu, epifauna dan hewan yang singgah sementara untuk mencari makan di sedimen seperti ikan Pari manta dan dugong juga memiliki efek bioturbasi (Norkko & Shumway, 2011).

Kristensen et al. (2012) mendefinisikan bioturbasi fauna sebagai semua proses transpor yang dilakukan oleh hewan baik secara langsung atau tidak langsung yang dapat mempengaruhi matriks sedimen. Proses tersebut meliputi *particle reworking* dan *burrow ventilation*. *Particle reworking* merupakan pengadukan partikel sedimen dari yang awalnya telah terdeposisi lalu tererosi, kemudian terdeposisi kembali menjadi lapisan baru di sedimen. Sedangkan *burrow ventilation* adalah pemindahan air melalui ventilasi liang yang dibangun oleh hewan tersebut (Kristensen et al., 2012; Shull, 2009).

Berdasarkan material yang dipindahkan, bioturbator dibagi menjadi dua kategori yaitu *particle reworking* yang menggerakkan partikel sedimen dan *burrow ventilation* yang mengatur pergerakan air.

Berdasarkan tipe aktivitas *reworking*, hewan bioturbator dapat dikelompokkan menjadi *biodiffusor*, *upward conveyor*, *downward conveyor* dan *regenerator*, sedangkan berdasarkan bentuk liang dari *burrow ventilation* dibagi menjadi *blind-ended* dan *open-ended* (Kristensen et al., 2012). Pengelompokan bioturbator dapat diilustrasikan pada Gambar 1.

Kristensen et al. (2012) menjelaskan *biodifusser* merupakan biota yang mengangkut partikel sedimen secara acak saat bergerak melalui sedimen. Berdasarkan kebiasaannya hidupnya, kelompok ini dibagi menjadi:

1. *Biodifusser* epifauna merupakan organisme yang hidup pada permukaan sedimen. Ukurannya bervariasi dari seukuran *Uca* spp., sampai ikan bentik seperti pari manta.
2. *Biodifusser* permukaan merupakan organisme yang sebagian besar aktivitasnya terbatas pada beberapa sentimeter dari lapisan sedimen paling atas dan jarang menjelajah di atas permukaan sedimen yang berbatasan dengan air. Contohnya adalah *sand dollar*, *Scalibregma inflatum* dan *Abra nitida*.

Gambar 1. Pengelompokan jenis bioturbator (Kristensen et al., 2012).

3. *Biodifusser* galeri merupakan organisme pembuat liang yang melakukan pengadukan melalui kegiatan meliangnya pada kedalaman 10–30 cm dari permukaan sedimen. Organisme dari kelompok ini biasanya adalah cacing polikaeta yang membuat liang.

Upword conveyor merupakan biota yang hidup secara vertikal pada sedimen dengan kepala berada di bawah dan bagian posterior menghadap atas ke permukaan. Bioturbator ini memindahkan partikel dari dalam ke permukaan sedimen. Contoh biota dari bioturbator jenis ini adalah cacing *Arenicola marina* dan udang *Thalassinidea* (Pillay & Branch, 2011).

Downward conveyor merupakan biota yang hidup secara vertikal pada sedimen dengan kepala berada di atas permukaan dan bagian posterior menghadap ke bawah. Bagian anterior secara aktif mencari dan memakan partikel di permukaan dan membuang fesesnya di dalam sedimen. Contoh biotanya adalah cacing polikaeta *Cirriformia grandis* (Kristensen et al., 2012).

Regenerator merupakan biota penggali yang secara terus menerus mempertahankan liangnya pada sedimen. Hal ini menyebabkan perpindahan sedimen dari dalam ke permukaan sedimen.

Contohnya adalah kepiting *Uca* spp. dan *Ocypode* spp. (Shull, 2009; Kristensen et al., 2012).

Pada bioturbator kelompok *burrow ventilation*, kegiatan meliang menghasilkan pertukaran air yang cepat antara air lapisan atas dengan sedimen bawah permukaan. Pertukaran air tersebut kemudian menjadi kekuatan pendorong untuk terjadinya *bioirrigation*, yaitu proses terjadinya peningkatan transportasi air pori sedimen dan zat terlarut dalam sedimen yang mengelilingi liang. Terdapat dua tipe liang berdasarkan ventilasi liang yang berhubungan dengan bioirigasi air pori sedimen yaitu *open-ended* dan *blind-ended* (François et al., 2002; Kristensen et al., 2012).

Open-ended (Gambar 2A) merupakan tipe liang yang memiliki sekurang-kurangnya dua bukaan untuk pertukaran air. Tipe liang ini biasanya ditemukan pada cacing polikaeta peliang, larva chironomid dan udang *Thalassinida* yang memiliki liang bentuk U atau Y yang memiliki dua atau lebih bukaan mulut liang. Zat terlarut berpindah dalam matriks sedimen melalui difusi molekular dan masuk atau keluar dari sedimen melalui pertemuan air – sedimen dan melintasi dinding liang (Kristensen et al., 2012; Mermillod-Blondin, 2011).

Gambar 2. Tipe liang berdasarkan ventilasi liang yang berhubungan dengan bioirigasi air pori (Kristensen et al., 2012).

Blind-ended (Gambar 2B, C) merupakan tipe liang yang hanya memiliki satu bukaan mulut liang, biasanya berbentuk I atau J. Biota yang memiliki tipe liang seperti ini adalah cacing polikaeta yang *conveyor-feeding* dan memiliki tentakel atau cacing polikaeta *suspension feeder* yang memiliki semacam mahkota pada anteriornya. Pada *blind-ended* di sedimen yang *impermeable*, pertukaran air terjadi melalui sirkulasi internal yang relatif lambat atau melalui aliran air dua arah di dalam liang (Gambar. 2B). Untuk spesies yang hidup di sedimen *permeable* (Gambar 2C), ventilasi dapat dengan mudah terjadi melalui perkolasi secara searah melalui celah sedimen dan kembali ke permukaan (Kristensen et al., 2012).

Bioturbator Sebagai Perekasaya Ekosistem

Perekayasa ekosistem merupakan 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 (Jones et al., 1994). Berdasarkan definisi tersebut bioturbator merupakan perekayasa ekosistem karena mampu melakukan perubahan fisik dan perubahan kimia melalui pergerakan partikel sedimen atau air. Hal ini menyebabkan pentingnya mengenal bioturbator dan peranannya agar dapat dimanfaatkan sebagai spesies kunci konservasi maupun restorasi.

Bioturbator dapat mempengaruhi reaksi biogeokimia dengan cara mengubah ketersediaan sumberdaya (karbon dan nutrisi) untuk mikroba atau dengan mengubah kondisi abiotik yang mempengaruhi laju reaksi mikrobial (Gutiérrez & Jones, 2006). Ugang

thalassinid mempengaruhi sifat dan proses sedimen serta biogeokimia melalui aktivitas menggali dan ventilasi. Hal ini kemudian mempengaruhi baik secara positif atau negatif organisme yang hidup bersama seperti bakteri, mikoralga, meifauna, makrofauna dan lamun (Pillay & Branch, 2011).

Bioturbasi juga mempengaruhi siklus nutrisi di habitat sedimen halus. Misalnya cacing polikaeta *Marenzelleria* spp. mampu meningkatkan kekayaan spesies lain dan kekayaan fungsional di lingkungan hidupnya melalui efek dari bioturbasi yang dilakukannya (Kauppi et al., 2018). Bioturbasi memiliki banyak pengaruh pada struktur komunitas bentik. Pada sedimen berlumpur, bioturbasi yang dilakukan oleh *deposit feeder* dapat mengurangi densitas dari *suspension feeder*. Bioturbasi mengubah distribusi kedalaman bahan organik dan dapat meningkatkan ketersediaan dan kualitas makanan untuk *deposit feeder* di sedimen. Hal ini dapat meningkatkan aliran nutrisi yang menyebabkan peningkatan laju produksi primer bentik dan peningkatan produktivitas mikrobial. Selain itu, daur ulang nutrisi yang meningkat antara sedimen dan air di atasnya membantu menjaga produktivitas kolom air di muara dan lingkungan laut air dangkal (Shull, 2009).

Bioturbasi juga mempengaruhi habitat bersedimen halus secara fisik. Bioturbator dapat mengubah lingkungan dasar berpasir atau berlumpur yang homogen menjadi heterogen melalui keberadaan liang, lubang dan gundukan (Norkko & Shumway, 2011). Pada bioturbator kelompok kerang-kerangan, keberadaan cangkang hidup maupun mati menciptakan struktur fisik dan heterogenitas habitat. Pengerjaan kembali sedimen mempengaruhi distribusi *grain*

size, porositas dan profil vertikal baik zat solid maupun terlarut, yang pada akhirnya akan mempengaruhi biodiversitas dan fungsi ekosistem di lingkungan sedimen halus (Peterson & Black, 1993; Kristensen et al., 2015).

Bioturbasi mampu meningkatkan kedalaman penetrasi oksigen dari air di permukaan sedimen ke dalam sedimen. Pengadukan, penggalian, pembuatan *tube*, aktifitas *suspension feeding* dan ventilasi liang mampu mengoksigenasi sedimen dan mengurangi kondisi anoksik pada sedimen. Hal ini mempengaruhi ketersediaan area untuk aktifitas mikroba *aerobik*, yang akan mempengaruhi keseluruhan sistem (Norkko & Shumway, 2011).

Bioturbator berukuran besar juga memiliki peranan sebagai perekayasa ekosistem, meskipun secara densitas tidak sebesar bioturbator kecil seperti invertebrata. Walrus (*Odobenus rosmarus divergens*) di Beringa merupakan biota utama dalam merekonstruksi dan menyusun kembali sedimen. Saat mencari makan, walrus dapat memindahkan kerang pada substrat yang dalam, menggerakkan partikel benthik, mengaduk dan mengoksigenasi sedimen benthik sehingga mengubah struktur sedimen. Permukaan hasil bioturbasi oleh walrus ini kemudian tersedia sebagai tempat kolonisasi bagi larva invertebrata dan juga sebagai penyedia habitat biota-biota oportunistik. Bioturbasi yang dilakukan walrus mampu melepaskan gas yang terperangkap dalam sedimen dan menghasilkan struktur sedimen yang sama sekali berbeda dengan sedimen yang tidak dibioturbasi oleh walrus (Ray et al., 2006).

Indonesia juga memiliki bioturbator mega fauna laut yaitu dugong (*Dugong dugong*). Dugong memakan lamun terutama lamun bagian bawah (*below*

ground), sehingga cara makan dugong yang *grazing* akan mengaduk sedimen di tempat makannya (Christianen et al., 2012). *Grazing* lamun yang dilakukan dugong mempengaruhi fungsi ekosistem seperti mengubah habitat, produktivitas primer, siklus nutrient, kondisi geomorfologi dan perpindahan biota. (Bakker et al., 2016). Pengaruh dugong terhadap ekosistem pada saat ini tidak terlalu berdampak besar karena jumlahnya yang semakin berkurang di alam akibat perburuan dan kerusakan lingkungan (McCauley et al., 2015). Bila populasi dugong di alam tidak dijaga maka fungsi ekosistem yang disediakan oleh dugong bisa menghilang, yang tentu akan menjadi masalah di masa mendatang.

Berdasarkan studi yang telah dilakukan, bioturbator memiliki pengaruh yang besar dan beragam baik pada level spesies maupun ekosistem. Pemahaman mengenai efek langsung dari bioturbasi diperlukan untuk mengetahui bagaimana bioturbator sebagai perekayasa ekosistem dapat digunakan untuk merestorasi ekosistem dasar secara efisien. Misalnya Thomson et al., (2019) telah mensimulasikan pada skala percobaan laboratorium bahwa bioturbator udang *Trypaea australiensis* dapat mengkonversi sedimen pada lamun dari *carbon sink* ke *carbon source*. Hal ini kemungkinan menunjukkan bahwa bila terjadi perubahan komunitas fauna di ekosistem lamun secara signifikan maka dapat mempengaruhi stok karbon. Pemahaman tentang bioturbator akan membantu pengambilan keputusan untuk upaya konservasi dan/atau restorasi habitat.

PENUTUP

Bioturbator merupakan biota yang mampu mengubah sedimen baik secara langsung maupun tidak langsung melalui pengadukan partikel dan/atau pemindahan

air. Jenis bioturbator berdasarkan transpor sedimen terbagi menjadi *biodifusser*, *upward-conveyor*, *downward-conveyor* dan regenerator; sedangkan berdasarkan aliran air terbagi menjadi *open-ended* dan *blind-ended*. Di lingkungan benthik, bioturbator memegang peranan penting untuk membentuk, mengubah dan mempertahankan kondisi ekosistem, dari yang berukuran kecil seperti cacing polikaeta hingga hewan berukuran besar seperti mamalia laut dugong. Bioturbator merupakan pengontrol utama pada ekosistem benthik di pesisir dan lautan, sehingga pemahaman mengenai cara kerja dan seberapa besar pengaruhnya akan berguna untuk pemanfaatan di masa mendatang, khususnya dalam konservasi dan restorasi habitat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakker, E. S., Pagès, J. F., Arthur, R., & Alcoverro, T. (2016). Assessing the role of large herbivores in the structuring and functioning of freshwater and marine angiosperm ecosystems. *Ecography*, 39: 162–179. <https://doi.org/10.1111/ecog.01651>
- Christianen, M. J. A., Govers, L. L., Bouma, T. J., Kiswara, W., Roelofs, J. G. M., Lamers, L. P. M., & van Katwijk, M. M. (2012). Marine megaherbivore grazing may increase seagrass tolerance to high nutrient loads. *Journal of Ecology*, 100(2): 546–560. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01900.x>
- François, F., Gerino, M., Stora, G., Durbec, J. P., & Poggiale, J. C. (2002). Functional approach to sediment reworking by gallery-forming macrobenthic organisms: Modeling and application with the polychaete *Nereis diversicolor*. *Marine Ecology Progress Series*, 229(January 2015): 127–136. <https://doi.org/10.3354/meps229127>
- Gutiérrez, J. L., & Jones, C. G. (2006). Physical Ecosystem Engineers as Agents of Biogeochemical Heterogeneity. *BioScience*, 56(3): 227–236. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)056](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)056)
- Jones, C. G., & Lawson, J. H. (Eds.). (1995). *Linking species and ecosystem*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1773-3>
- 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.
- Kauppi, L., Bernard, G., Bastrop, R., Norkko, A., & Norkko, J. (2018). Increasing densities of an invasive polychaete enhance bioturbation with variable effects on solute fluxes. *Scientific Reports*, 8(1): 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25989-2>
- Kristensen, E., Penha-Lopes, G., Delefosse, M., Valdemarsen, T., Quintana, C. O., & Banta, G. T. (2012). What is bioturbation? the need for a precise definition for fauna in aquatic sciences. *Marine Ecology Progress Series*, 446(June 2014): 285–302. <https://doi.org/10.3354/meps09506>
- Kristensen, L. D., Stenberg, C., Støttrup, J. G., Poulsen, L. K., Christensen, H. T., Dolmer, P., ... & Grønkjær, P. (2015). Establishment of blue mussel beds to enhance fish habitats. *Applied Ecology and Environmental Research*, 13(3): 783–798. https://doi.org/10.15666/aeer/1303_783798

- McCauley, D. J., Pinsky, M. L., Palumbi, S. R., Estes, J. A., Joyce, F. H., & Warner, R. R. (2015). Marine defaunation: Animal loss in the global ocean. *Science*, 347(6219). <https://doi.org/10.1126/science.1255641>
- Mermillod-Blondin, F. (2011). The functional significance of bioturbation and biodeposition on biogeochemical processes at the water-sediment interface in freshwater and marine ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, 30(3): 770–778. <https://doi.org/10.1899/10-121.1>
- Meysman, F. J. R., Middelburg, J. J., & Heip, C. H. R. (2006). Bioturbation: a fresh look at Darwin's last idea. *Trends in Ecology and Evolution*, 21(12): 688–695. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.08.002>
- Norkko, J., & Shumway, S. E. (2011). Bivalves as Bioturbators and Bioirrigators. In S. E. Shumway (Ed.), *Shellfish Aquaculture and the Environment* (First Edit, pp. 297–317). <https://doi.org/10.1002/9780470960967.ch10>
- Peterson, C. H., & Black, R. (1993). Experimental tests of the advantages and disadvantages of high density for two coexisting cockles in a Southern Ocean Lagoon. *The Journal of Animal Ecology*, 62(4): 614. <https://doi.org/10.2307/5383>
- Pillay, D., & Branch, G. M. (2011). Bioengineering effects of burrowing thalassinidean shrimps on marine soft-bottom ecosystems. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 49(June): 137–191. <https://doi.org/10.1201/b11009-5>
- Ray, G. C., McCormick-Ray, J., Berg, P., & Epstein, H. E. (2006). Pacific walrus: Benthic bioturbator of Beringia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 330(1): 403–419. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2005.12.043>
- Shull, D. H. (2009). Bioturbation. *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 395–400. <https://doi.org/10.1016/B978-012374473-9.00656-1>
- Thomson, A. C. G., Trevathan-Tackett, S. M., Maher, D. T., Ralph, P. J., & Macreadie, P. I. (2019). Bioturbator-stimulated loss of seagrass sediment carbon stocks. *Limnology and Oceanography*, 64(1): 342–356. <https://doi.org/10.1002/lno.11044>