

## Feeding behaviour and bioerosion: the ecological role of the rock-boring urchin, *Echinometra mathaei* (de Blainville, 1825), in Okinawa reef flat

Perilaku makan dan bioerosi: peranan ekologis bulu babi, *Echinometra mathaei* (de Blainville, 1825), pada rata-rata karang Pulau Okinawa

Noar Muda Satyawan<sup>1\*</sup>, Shelly Tutupoho<sup>2</sup>, Yusli Wardiatno<sup>1</sup>, and Makoto Tsuchiya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Perairan (PS. SDP), Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Kampus FPIK-IPB, Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

<sup>2</sup> Faculty of Science, University of the Ryukyus, Nishihara, Okinawa 903-0213, Japan

\*E-mail: noarmudasatyawan@yahoo.com

**Abstract:** Erosion rate on corals due to activities of other biota is called bioerosion. The rock-boring urchin, *Echinometra mathaei*, when it is abundant, plays a significant role in benthic ecosystems, including biological processes like coral erosion. During feeding, *E. mathaei* erodes calcium carbonate besides grazing on algae living on coral, so it plays an important role in both organic and inorganic carbons in coral reefs. The urchin *E. mathaei* actively feeds during the night time (nocturnal grazer). Although in Okinawa four types (A-D) of the urchin exist, the research only focused on the types A and B. Type A of *E. mathaei* produced 0.44951 g feces per day on average while type B produced 0.38030 g feces per day. CaCO<sub>3</sub> analysis in feces and gut contents showed bioerosion rate of *E. mathaei* type A was 0.64492 g/individu/day, and 0.54436 g/individu/day in type B. There were no significant differences in bioerosion impact of *E. mathaei* type A and B©

**Keywords:** feeding behavior; bioerosion; rock-boring urchin; coral reefs; Okinawa.

**Abstrak:** Laju erosi pada karang yang disebabkan oleh biota, dikenal dengan bioerosi. Bulu babi jenis *Echinometra mathaei*, ketika melimpah, menjadi sangat berpengaruh terhadap ekosistem bentik termasuk proses biologi seperti erosi karang. Selama aktivitas makan, *E. mathaei* menggerus kalsium karbonat dalam proporsi yang besar di samping alga yang tumbuh menempel pada karang sehingga memiliki peran penting dalam siklus karbon organik dan anorganik di ekosistem terumbu karang. Bulu babi *E. mathaei* aktif mencari makan pada malam hari (*nocturnal grazer*). Meskipun di Okinawa ada 4 tipe (A-D), pada eksperimen kali ini memfokuskan pada tipe A dan B saja. Tipe A *E. mathaei* rata-rata memproduksi 0,44951 g feses/hari dan tipe B memproduksi 0,38030 g feses/hari. Berdasarkan analisis CaCO<sub>3</sub> yang dilakukan pada feses dan isi lambung, laju bioerosi yang disebabkan oleh *E. mathaei* tipe A sebesar 0,64492 g/individu/hari sedangkan tipe B sebesar 0,54436 g/individu/hari. Tidak terdapat perbedaan dampak bioerosi yang signifikan antara *E. mathaei* tipe A dan B©

**Kata-kata kunci:** perilaku makan; bioerosi; bulu babi; terumbu karang; Okinawa.

### PENDAHULUAN

Pemeliharaan ekosistem terumbu karang bergantung pada keseimbangan antara konstruksi dan destruksi. Konstruksi terutama melalui kalsifikasi dan pertumbuhan karang. Destruksi terdiri atas erosi fisika, kimia dan biologi. Erosi karena faktor biologi dipertimbangkan sebagai penyebab utama degradasi karang bila dibandingkan dengan erosi lainnya. Erosi fisika (badai) hanya bersifat sementara dan terbatas sedangkan erosi kimia dapat diabaikan karena kondisi kimia air laut yang sebenarnya. Erosi karena faktor biologi memainkan

peran dalam pembentukan sedimen, pemeliharaan keragaman biota dengan membentuk mikro habitat dan menyediakan sumber makanan serta mendaur ulang Ca<sup>2+</sup> dan C (Carreiro-Silva and McClanahan, 2001; Tribollet and Golubic, 2011). Tinjauan tentang efek bioerosi dan peran ekologi oleh ekinoid pada ekosistem terumbu karang disajikan dengan komprehensif oleh Samarco (1996).

Laju erosi pada karang yang disebabkan oleh biota, dikenal dengan bioerosi. Bulu babi, ketika melimpah, menjadi sangat berpengaruh terhadap ekosistem bentik termasuk proses biologi seperti erosi karang. Taring bulu babi dikenal dengan

“Aristotle’s lantern”, yang merupakan struktur kompleks skeleton yang berperan dalam memperoleh makanan (de Ridder and Lawrence, 1982). Variasi dalam ukuran lentera adalah relatif terhadap ukuran tubuh dari *Echinometra mathaei* yang ditemukan (Black et al., 1984). Selama aktivitas makan, ekinoid menggerus kalsium karbonat dalam proporsi yang besar di samping alga yang tumbuh menempel pada karang mati yang membuatnya menjadi penting dalam memperkirakan besarnya siklus karbon organik dan anorganik pada terumbu karang (Bak, 1994).

Lambung bulu babi berisikan alga berkapur, partikel karang, fragmen duri bulu babi, dan cangkang gastropoda yang membentuk sebagian besar bahan anorganik (Black et al., 1984). Feses bulu babi mengandung 73%  $\text{CaCO}_3$  yang berasal dari erosi karang, 20 % merupakan material organik dan 7% merupakan material organik terlarut (Mills et al., 2000). Laju bioerosi oleh ekinoid yang diestimasi melalui analisis isi lambung *E. mathaei* pada Atol Enewetak, berkisar antara 0,07 dan 0,26 kg  $\text{CaCO}_3$  per  $\text{m}^2$  per tahun (Russo, 1980) sampai dengan 8,32 kg  $\text{CaCO}_3$  per  $\text{m}^2$  per tahun untuk *E. mathaei* pada rata-rata karang La Reunion (Conand et al., 1998). Kukubo (1993) mengestimasi laju erosi  $\text{CaCO}_3$  oleh *E. mathaei* tipe B pada rata-rata karang Mizugama, Pulau Okinawa sebesar 0,1093 g/hari dengan rata-rata diameter cangkak maksimum 25,3 mm.

Bulu babi *E. mathaei* kebanyakan ditemukan pada lokasi yang bersuhu hangat (Russo, 1977). Sepanjang garis pantai Pulau Okinawa dapat ditemukan bervariasi bulu babi *E. mathaei* yang memiliki distribusi yang luas mulai dari Jepang bagian tengah sampai dengan bagian selatan Australia merupakan jenis yang paling melimpah. Populasi jenis ini di pesisir Okinawa terbagi menjadi 4 tipe (A-D) yang didasarkan pada perbedaan morfologi, ekologi dan karakteristik embrio (Uehara, 1990). Penelitian ini dilakukan untuk memperkirakan dampak bioerosi yang disebabkan oleh perilaku makan *E. mathaei* yang menggambarkan peranannya ekologisnya pada rata-rata karang Pulau Okinawa. Pada penelitian ini, kajian menekankan pada perilaku makan dan bioerosi jenis *E. mathaei* tipe A dan B.

## MATERIAL DAN METODE

### Observasi lapangan

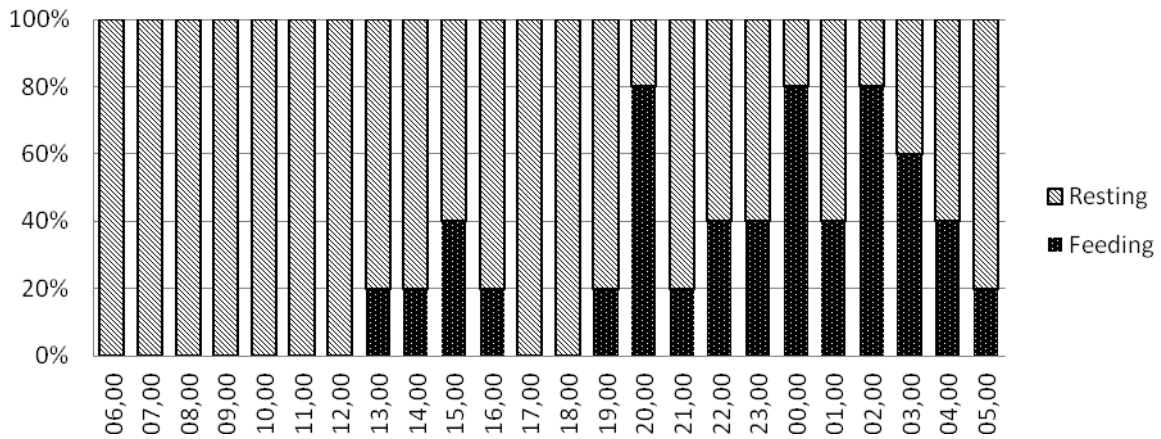
Observasi lapangan dilakukan pada pesisir pantai Minatogawa, Pulau Okinawa, selama bulan Agustus 2012.

### Perilaku makan bulu babi

Meskipun di Okinawa tersedia empat tipe bulu babi *E. mathaei*, namun pada eksperimen ini digunakan dan dibandingkan tipe A dan B. Eksperimen laboratorium telah dilakukan untuk mengkaji aktivitas makan bulu babi. Karang dengan lubang-lubang yang berisikan bulu babi diambil dari lapangan dan kemudian ditempatkan di dalam akuarium. Aktivitas bulu babi diamati setelah dilakukan aklimasi dalam akuarium selama 2 hari. Aktivitas makan diamati untuk menyelidiki perilaku bulu babi. Sepuluh bulu babi (5 individu *E. mathaei* tipe A, 5 individu *E. mathaei* tipe B) diamati selama 24 jam dengan interval waktu pengamatan selama 1 jam. Aktivitas bulu babi yang diamati meliputi aktivitas makan dan istirahat. Ketika duri bulu babi teramati dalam kondisi aktif menempel pada dinding lubang menangkap partikel-partikel makanan dan bulu babi terlihat memproduksi feses, dikategorikan sebagai aktifitas “makan/meliang”; dan apabila teramati dalam kondisi tidak aktif, dikategorikan sebagai aktifitas “istirahat”.

### Produksi feses dan analisis isi lambung

Laju erosi diestimasi dari *E. mathaei* tipe A dan B yang berada di dalam lubang. Untuk menjaga lingkungannya agar sealami mungkin, akuarium disinari dengan lampu fluorescent 250 lux selama 12 jam, dan air disirkulasikan. Satu sampai lima hari setelah bulu babi diletakkan dalam lubangnya, sedimen di dalam lubang dikumpulkan dan pada hari terakhir isi lambung diambil dan ditempatkan dalam botol sampel. Kemudian sampel dibilas dengan *Double Distilled Water* (DDW) tiga kali untuk melepaskan NaOH yang terkandung dalam sampel. Kemudian sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam. Setelah ditimbang, sampel diberi perlakuan dengan HCl 2N untuk menghilangkan  $\text{CaCO}_3$  yang terkandung dalam sampel. Setelah itu, sampel dibilas dengan DDW, dikeringkan dan kemudian ditimbang kembali. Berat awal sebelum diberi perlakuan dengan HCl merupakan berat kering feses yang diproduksi oleh bulu babi. Perbedaan antara berat sebelum dengan setelah diberi perlakuan dengan HCl merupakan estimasi dari  $\text{CaCO}_3$  yang terkandung dalam feses dan isi lambung (Kukubo, 1993).



Gambar 1. Persentase aktivitas istirahat dan makan *Echinometra mathaei* tipe A

**Analisi data**

Analysis of variance (ANOVA) satu arah digunakan untuk mendeteksi signifikansi perbedaan antara produksi feses dan dampak bioerosi pada siang dan malam hari dan juga perbedaan dampak erosi yang disebabkan oleh kedua tipe *E. mathaei* tersebut pada  $\alpha = 0,05$  (Fowler and Cohen, 1990).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Perilaku makan**

Sepuluh individu *E. mathaei* (5 individu tipe A dan 5 individu tipe B) telah diamati untuk menggambarkan perilaku makan masing-masing tipe tersebut. Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan aktivitas makan masing-masing tipe. Kedua tipe tersebut kebanyakan aktif mencari makan pada waktu malam (19.00–05.00) yang diindikasikan dengan produksi feses dan aktivitas duri serta kaki tabung. Feses tidak hanya diproduksi pada malam hari, tetapi juga pada siang hari dengan intensitas yang lebih rendah.

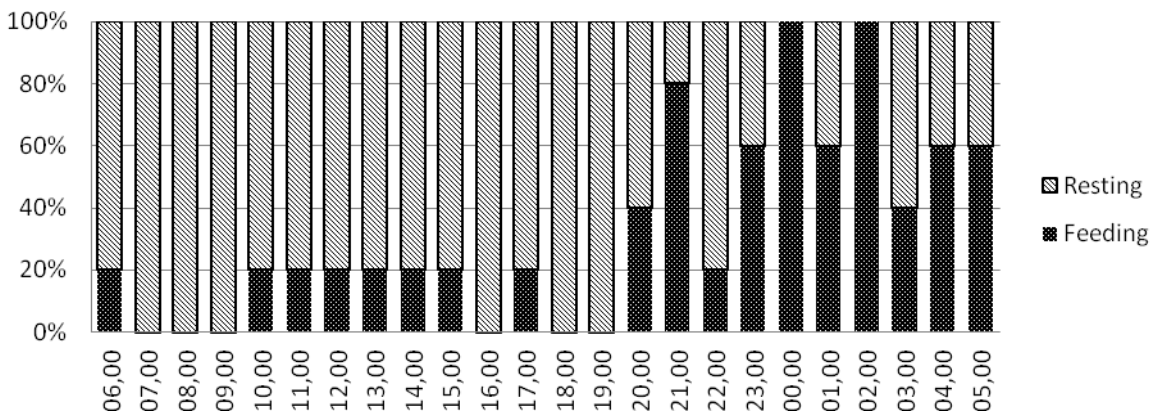
Hart and Chia (1990) menemukan bahwa *E.*

*mathaei* akan tetap berada di dalam lubang selama makanan masih tersedia dan mereka akan keluar bila dalam keadaan lapar. Dalam penelitian ini, sangat ditekankan bahwa *E. mathaei* merupakan grazer nokturnal. Hasil ini sangat dekat dengan laporan sebelumnya yang menyatakan bahwa *E. mathaei* makan selama malam hari dan lambung akan ditemukan kosong selama siang hari (Ogden, 1980; Russo, 1980; Bak, 1990).

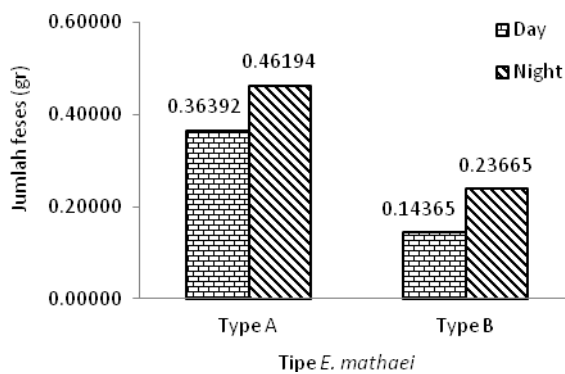
**Produksi feses**

Produksi feses menggambarkan aktivitas makan bulu babi. Gambar 3 menunjukkan perbedaan jumlah feses yang diproduksi pada waktu siang dan malam hari. Pada waktu siang, *E. mathaei* tipe A diperkirakan menghasilkan 0,36392 g feses sedangkan tipe B menghasilkan 0,14365 g feses. Pada waktu malam kedua tipe memproduksi feses lebih banyak dibandingkan dengan waktu siang. Selama malam hari, tipe A memproduksi 0,46194 g feses sedangkan tipe B memproduksi 0,23665 g feses.

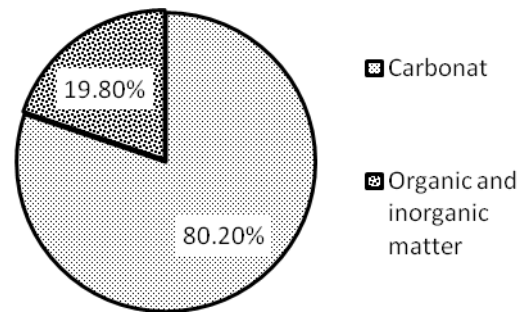
Rata-rata total produksi feses oleh kedua tipe *E. mathaei* ditunjukkan pada Gambar 4. *E. mathaei*



Gambar 2. Persentase aktivitas istirahat dan makan *Echinometra mathaei* tipe B



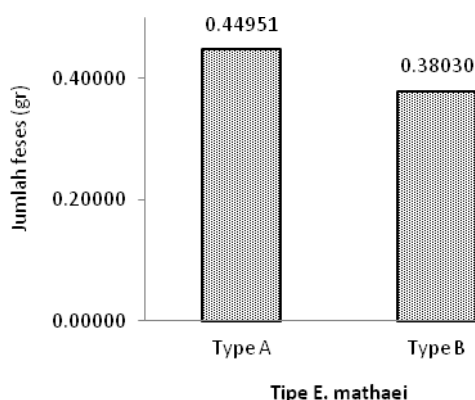
Gambar 3. Perbandingan jumlah feses yang dihasilkan *Echinometra mathaei* Tipe A dan Tipe B pada siang dan malam hari



Gambar 5. Proporsi  $\text{CaCO}_3$  dalam feses dan isi lambung *Echinometra mathaei*

tipe A memproduksi 0,44951 g feses/hari dan tipe B memproduksi 0,38030 g feses/hari. ANOVA menunjukkan perbedaan yang signifikan antara jumlah feses yang dihasilkan pada siang dan malam hari oleh tipe A ( $p=0,008$ ) dan tipe B ( $p=0,007$ ) tetapi tidak berbeda secara signifikan untuk total feses harian yang dihasilkan oleh kedua tipe *E. mathaei* tersebut.

Produksi feses terkait dengan produksi sedimen dalam lingkungan perairan. Hasil ini menunjukkan bahwa produksi feses untuk *E. mathaei* tipe A sekitar 0,44953 g/hari dan 0,38030 g/hari untuk tipe B. Feses *E. mathaei* menyediakan makanan untuk biota yang berasosiasi di dasar lubang. Schooppe and Werding (1996) melaporkan beberapa biota yang berasosiasi di dalam lubang *E. mathaei* seperti bintang mengular (*Ophiothrix synoecina*), kepiting (*Clastocheilus gorgonensis*), dan ikan *Acyrtus rubiginosus*. Spesies udang kecil *Athanas indicus* juga ditemukan berasosiasi dalam lubang *E. mathaei* (Bruce, 1982; Tsuchiya and Nishihira, 1985).

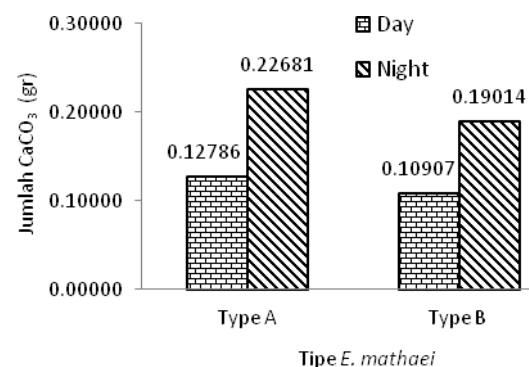


Gambar 4. Total feses harian yang dihasilkan oleh *Echinometra mathaei* Tipe A dan Tipe B

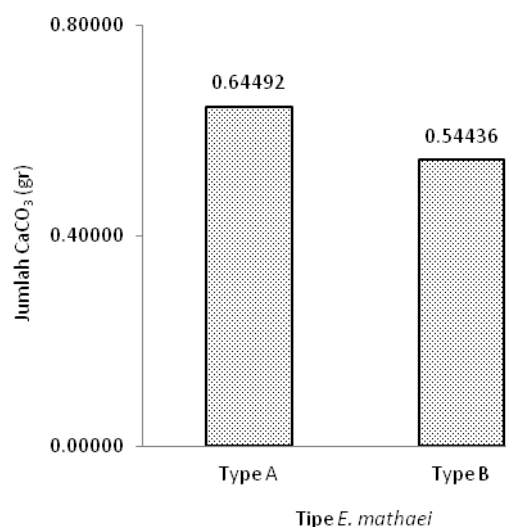
### Erosi $\text{CaCO}_3$ oleh *E. mathaei*

Pengukuran kandungan  $\text{CaCO}_3$  pada feses dan saluran pencernaan hewan laut ekinoid sebagai indikator bioerosi pada terumbu karang diperkenalkan oleh Mokady et al. (1996). Gambar 5 menunjukkan proporsi  $\text{CaCO}_3$  dalam feses dan isi lambung *E. mathaei*. Feses dan isi lambung *E. mathaei* mengandung 80,20 %  $\text{CaCO}_3$  dan 19,80 % material organik dan anorganik. Hasil ini mendekati hasil yang diperoleh Mills et al. (2000) yang melaporkan bahwa persentase kandungan yang terdapat dalam isi lambung *E. mathaei* terdiri atas 73%  $\text{CaCO}_3$ , 20% material organik dan 7% material organik terlarut. Black et al. (1984) menemukan proporsi yang serupa yaitu 73% bahan anorganik dan 27% bahan organik dalam isi lambung *Echinometra* spp. yang dikumpulkan dari Pulau Rottneest, Australia Barat.

Erosi  $\text{CaCO}_3$  pada siang dan malam hari ditunjukkan pada Gambar 6. Sekitar 0,12786 g erosi  $\text{CaCO}_3$  yang disebabkan oleh *E. mathaei* tipe A selama waktu siang dan 0,22681 g selama waktu malam. *E. mathaei* tipe B menyebabkan erosi



Gambar 6. Perbandingan erosi  $\text{CaCO}_3$  akibat aktivitas makan *Echinometra mathaei* Tipe A dan Tipe B pada siang dan malam hari



Gambar 7. Erosi harian  $\text{CaCO}_3$  oleh *Echinometra mathaei* Tipe A dan Tipe B

$\text{CaCO}_3$  sebesar 0,10907 g pada waktu siang dan 0,19014 g pada waktu malam. ANOVA menunjukkan perbedaan yang signifikan antara erosi  $\text{CaCO}_3$  pada siang dan malam hari untuk tipe A ( $p=0,001$ ) dan tipe B ( $p=0,010$ ). Gambar 7 menunjukkan rata-rata erosi harian oleh *E. mathaei* tipe A dan B. Sekitar 0,64492 g/hari erosi  $\text{CaCO}_3$  yang disebabkan oleh *E. mathaei* tipe A dan 0,54436 g/hari oleh *E. mathaei* tipe B. ANOVA menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan dampak erosi yang signifikan antara *E. mathaei* tipe A dan tipe B.

Laju bioerosi oleh bulu babi, yang diestimasi melalui isi lambung *E. mathaei* pada Atoll Enewetak, berkisar dari 0,07 sampai dengan 0,26 kg  $\text{CaCO}_3$ /individu/tahun (Russo, 1980). Dowling and El-Zhar (1987) memperkirakan laju erosi sebesar 0,9 sampai dengan 1,4 g  $\text{CaCO}_3$ /hari pada Teluk Arab. Bak (1990) menemukan erosi yang disebabkan oleh *E. mathaei* sebesar 0,14 g/hari pada Tiahura. Kukubo (1993) mengestimasi laju erosi yang disebabkan oleh *E. mathaei* pada rata-rata karang Mizugama Pulau Okinawa sebesar 0,1093 g/hari dengan rata-rata diameter maksimum bulu babi 25,3 mm. Sementara itu, Makody *et al.* (1996) menyebutkan aktivitas bioerosi oleh *E. mathaei* di ekosistem karang Laut Merah sebesar 120 mg/ind/hari dibandingkan dengan jenis *Diadema setosum* sebesar 310 mg/ind/hari.

Dalam penelitian ini, ditemukan laju erosi yang disebabkan oleh *E. mathaei* tipe A sebesar 0,64492 g/individu/hari atau sekitar 0,235 kg/individu/tahun sedangkan tipe B sebesar 0,54436 g/individu/hari atau sekitar 0,198 kg/individu/tahun. Hasil yang diperoleh 5 sampai 6 kali lebih besar bila dibandingkan dengan hasil

sebelumnya. Perbedaan ukuran, metode dan lokasi pengambilan sampel diduga menjadi penyebab perbedaan hasil estimasi dengan laporan sebelumnya. Dalam penelitian ini,  $\text{CaCO}_3$  diestimasi melalui sedimen feses dan isi lambung sedangkan laporan sebelumnya kebanyakan menganalisis  $\text{CaCO}_3$  berdasarkan isi lambung saja. Dalam penelitian ini,  $\text{CaCO}_3$  yang diestimasi dari isi lambung saja sebesar 0,29025 g dan 0,24515 g  $\text{CaCO}_3$ /hari. Hasil ini dekat dengan hasil yang diperoleh Mills *et al.* (2000) yang melaporkan bahwa isi lambung *E. mathaei* dengan diameter rata-rata 35 mm sebesar 0,32 g/hari.

Implikasi perilaku makan jenis bulu babi ini dapat mencerminkan peran ekologi pada habitat yang ditempati. Mokady *et al.* (1996) memperkirakan bahwa aktivitas bioerosi *E. mathaei* dan *D. setosum* di ekosistem terumbu karang Laut Merah terkonversi menjadi sedimen karbonat sebesar 7-11% dari proses kalsifikasi pada terumbu karang dangkal dan sebesar 13-22% dari proses kalsifikasi terumbu karang di bagian yang lebih dalam. Temuan mereka menekankan pada pentingnya bioerosi bulu babi sebagai faktor pembentuk struktur di terumbu karang. Pentingnya bioerosi ekinoid sebagai faktor pembatas pertumbuhan karang telah didokumentasikan oleh Glynn *et al.* (1979). Selain itu, aktivitas bioerosinya juga dianggap memiliki peran menentukan terhadap komposisi komunitas karang melalui kontrol terhadap larva karang yang baru menetap (Sammarco, 1980; 1982).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa *E. mathaei* aktif mencari makan pada malam hari (nokturnal grazer). *E. mathaei* tipe A rata-rata memproduksi 0,44951 g feses/hari dan tipe B memproduksi 0,38030 g feses/hari. Berdasarkan analisis  $\text{CaCO}_3$  yang dilakukan pada feses dan isi lambung, laju bioerosi yang disebabkan oleh *E. mathaei* tipe A sebesar 0,64492 g/individu/hari sedangkan tipe B sebesar 0,54436 g/individu/hari. Tidak terdapat perbedaan dampak bioerosi yang signifikan antara *E. mathaei* tipe A dan tipe B. Aktivitas makan dan meliang *E. mathaei* berperan dalam pembentukan sedimen, pemeliharaan keragaman biota dengan membentuk mikro habitat dan menyediakan sumber makanan serta mendaur ulang  $\text{Ca}^{2+}$  dan C di perairan.

## REFERENSI

- BAK, R.P.M. (1990) Patterns of echinoid bioerosion in two Pacific coral reef lagoons. *Marine Ecology Progress Series*, 66, pp. 267-272.
- BAK, R.P.M. (1994) Sea urchin bioerosion on coral reefs: place in the carbonate budget and relevant variables. *Coral Reefs*, 13, pp. 99-103.
- BLACK, R., CODD, C., HEBBERT, D., VINK, S. and BURT, J. (1984) The functional significance of the relative size of aristotle's lantern in the sea urchin *Echinometra mathaei* (de blainville). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 11, pp. 81-97.
- BRUCE, A.J. (1982) The shrimps associated with Indo-West Pacific echinoderms, with the description of a new species in the genus *Periclimenes* Costa, 1844 (Crustacea: Pontoniidae). *Memoirs of the Australian Museum*, 16, pp. 191-216.
- CARREIRO-SILVA, M. and McCLANAHAN, T.R. (2001) Echinoid bioerosion and herbivory on Kenyan coral reefs: the role of protection from fishing. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 262, pp. 133-153.
- CONAND, C., HEEB, M., PEYROT-CLAUSADE, M. and FONTAINE, M.F. (1998) Bioerosion by the sea urchin *Echinometra* on La Reunion reefs (Indian Ocean) and comparison with Tiahura reefs (French Polynesia). In: MOOI, R. and TELFORD, M. (eds.) *Echinoderms*. San Francisco, pp. 609-615.
- DE RIDDER, C. and LAWRENCE, J.M. (1982) Food and feeding mechanisms: Echinoidea. In: JANGOUX, M. and LAWRENCE, J.M. (eds.) *Echinoderm nutrition*. Rotterdam: A.A. Balkema, pp. 57-115.
- DOWING, N. and EL-ZAHR, C.R. (1987) Gut evacuation and filling rates in the rock boring sea urchin, *Echinometra mathaei*. *Bulletin of Marine Science*, 41, pp. 579-584.
- FOWLER, J. and COHEN, L. (1990) *Practical statistics for biology*. Canada: John Wiley & Sons.
- GLYNN, P.W., WELLINGTON, G.M. and BIRKELAND, C. (1979) Coral growth in the Galapagos: limitation by sea urchins. *Science*, 203, pp. 47-49.
- HART, L.J. and CHIA, F. (1990) Effect of food supply and body size on the foraging behavior of the burrowing sea urchin *Echinometra mathaei* (de Blainville). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 135, pp. 99-108.
- KUKUBO, A. (1993) *Residence and erosive activity in the burrowing urchin Echinometra mathaei*. Unpublished Thesis (MSc), University of the Ryukyus, Japan.
- MILLS, S.C., PEYROT-CLAUSADE, M. and FONTAINE, M.F. (2000) Ingestion and transformation of algal turf by *Echinometra mathaei* on Tiahura fringing reef (French Polynesia). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 254, pp. 71-84.
- MOKADY, O., LAZAR, B. and LOYA, Y. (1996) Echinoid bioerosion as a major structuring force of Red Sea coral reefs. *The Biological Bulletin*, 190, pp. 367-372.
- OGDEN, J.C. (1977) Carbonate-sediment production by parrotfish and sea urchins on Caribbean reefs. In: FROST, S. and WEISS, M. (eds.) *Caribbean reef systems: holocene and ancient*. American Association Petroleum Geological Special Paper 4, pp. 281-288.
- RUSSO, A.R. (1977) Water flow and the distribution and abundance of echinoids (genus *Echinometra*) on Hawaiian reef. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 28 (6), pp. 693-702.
- RUSSO, A.R. (1980) Bioerosion by two rock boring echinoids (*Echinometra mathaei* and *Echinostrephusa ciculatus*) on Enewetak Atoll, Marshall Islands. *Journal of Marine Research*, 38, pp. 99-110.
- SAMMARCO, P. W. (1980) Diadema and its relationships to coral spat mortality. Grazing competition and biological disturbance. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 45, pp. 245-272.
- SAMMARCO, P. W. (1982) Echinoid grazing as a structuring force in coral communities: whole reef manipulations. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 61, pp.31-55.
- SAMARCO, P.W. (1996) Comments on coral reef regeneration, bioerosion, biogeography, and chemical ecology: future directions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 200, pp. 135-168.
- SCHOOPPE, S. and WERDING, B. (1996) The boreholes of sea urchin genus *Echinometra* (Echinodermata: Echinoidea: Echinometri-

dae) as a microhabitat in Tropical South America. *Marine Ecology*, 17 (1-3), pp. 181-186.

TRIBOLLET, A. and GOLUBIC, S. (2011) *Reef bioerosion: agent and processes in coral reef: an ecosystem in transition*. Springer Science+Business Media.

TSUCHIYA, M. and NISHIHARA, B. (1985) Agonistic behaviour and its effect on

dispersion pattern in two types of the sea urchin, *Echinometra mathaei* (Blaineville). *Gallaxea*, 4, pp. 37-48.

UEHARA, T. (1990) Speciation in *Echinometra mathaei*. *Iden*, 44 (7), pp. 47-53.

*Diterima: 14 Mei 2013*

*Disetujui: 17 Mei 2013*