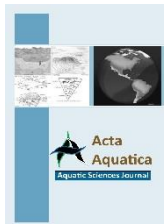




Acta Aquatica

Aquatic Sciences Journal



Komunitas fauna makrozoobentos di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu: faktor lingkungan, distribusi, ekologi komunitas, pola sebaran dan hubungannya

The community of macrozoobenthos fauna in mangrove reforestation area of Kepulauan Seribu: environmental factors, distribution, community ecology, distribution patterns, and their relationship

Syahrial ^{a, *}, Chandrika Eka Larasati ^b, Dandi Saleky ^c, dan Muhammad Fauzan Isma ^d

^a Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Malikussaleh, Aceh, Indonesia

^b Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

^c Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Musamus, Papua, Indonesia

^d Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Samudra, Aceh, Indonesia

Abstrak

Mangrove sangat penting bagi kehidupan biota pesisir dan laut, dimana telah mengalami kerusakan dan juga telah dilakukan rehabilitasi. Kajian komunitas fauna makrozoobentos di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu berdasarkan faktor lingkungan, distribusi, ekologi komunitas, pola sebaran dan hubungannya telah dilakukan pada bulan Maret 2014. Hal ini bertujuan untuk mengetahui faktor lingkungan, distribusi, ekologi komunitas, pola sebaran serta hubungannya. Faktor lingkungan diukur secara *in-situ*, sedangkan fauna makrozoobentosnya dikumpulkan dengan transek garis dan plot. Kemudian ekologi komunitas fauna makrozoobentosnya dilihat berdasarkan indeks keanekaragaman, dominansi maupun keseragaman, sedangkan pola penyebarannya dianalisis dengan indeks morisita serta hubungan antara faktor lingkungan, ekologi komunitas dan pola penyebarannya dianalisis menggunakan regresi linier sederhana. Faktor lingkungan yang diukur tidak begitu berbeda dan juga tidak melebihi baku mutu. Sebanyak 6 spesies dengan 3 kelompok fauna makrozoobentos telah ditemukan di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu. Kemudian indeks keanekaragaman maupun keseragamannya tergolong rendah, dominansinya tergolong tinggi dan pola penyebarannya tergolong seragam (*uniform*). Selain itu, hubungan antara faktor lingkungan (suhu, salinitas dan DO perairan) dengan indeks keanekaragaman maupun keseragaman berkorelasi positif, sedangkan hubungan antara faktor lingkungan dengan indeks dominansinya berkorelasi negatif. Kemudian korelasi antara faktor lingkungan dengan pola penyebaran berkorelasi positif (membentuk kelompok) dan korelasi antara ekologi komunitas (keanekaragaman dan keseragaman) dengan pola penyebarannya juga berkorelasi positif serta membentuk kelompok.

Kata kunci: fauna makrozoobentos, reboisasi mangrove, faktor lingkungan, distribusi, ekologi komunitas, pola sebaran, Kepulauan Seribu

Abstract

Mangrove ecosystems are essential for the life of coastal and marine biota, which have been damaged and have been reforested. Study macrozoobenthos fauna community in mangrove reforestation area of Kepulauan Seribu was conducted in March 2014. This aimed to assess the relationship between environmental factors, distribution, ecology, and distribution patterns of the macrozoobenthos fauna community. The environmental factors were measured *in-situ*, and macrozoobenthos was collected using line and plot transect. The ecology of macrozoobenthos fauna was analyzed based on diversity, uniformity, and dominance index. Distribution patterns were analyzed using Morisita index, and their relationships were analyzed using linear regression. Six species from 3 groups were found in this area. Diversity and uniformity index were classified low, dominance index was high, and the distribution patterns were relatively uniform. In addition, the relationship between the environmental factors (temperature, salinity, and DO) with diversity and uniformity index were positively correlated, and relationship between the environmental factors with dominance index were negatively correlated. The correlation between environmental factors with distribution patterns were positive (form groups), and the correlation between community ecology with distribution patterns were positive.

Keywords: community ecology; distribution; Kepulauan Seribu; mangrove reforestation; macrozoobenthos fauna

* Corresponding author: Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian Universitas Malikussaleh, Aceh Utara, Aceh, Indonesia.
Tel: +62.645.41373
e-mail: syahrial.marine@unimal.ac.id
doi: <https://doi.org/10.29103/aa.v7i2.2456>

1. Pendahuluan

Hutan mangrove saat ini memerlukan rehabilitasi yang mendesak (Feller et al., 2017). Hal ini karena kondisinya di seluruh dunia mulai menurun pada tingkat yang mengkhawatirkan dan mungkin lebih cepat dari jenis hutan tropis lainnya (Giri et al., 2007). Menurut Aboudha dan Kairo (2001) di sepanjang garis pantai Pulau Lamu (Kenya), hutan mangrove yang ditebang mencapai 85% dari total luas hutan mangrovenya pada tahun 1941 – 1956, kemudian di beberapa negara Asia, selama 20 tahun terakhir kerusakan mangrovenya telah mendekati 50 – 80%, baik itu di Filipina maupun di Indonesia (Jawa, Sulawesi, Sumatera) (Wolanski et al., 2000). Hamilton dan Casey (2016) menyatakan bahwa rata-rata hilangnya mangrove di Filipina pertahunnya mencapai 2.2 km², sedangkan di Indonesia mencapai 62.4 km² pada tahun 2000 – 2012, dan secara global, Indonesia memiliki tingkat kehilangan mangrove tertinggi setiap tahunnya. Menurut Ilman et al. (2016) eksploitasi mangrove di Indonesia telah dimulai sejak tahun 1400 (selama era Kerajaan Majapahit), kemudian eksploitasi kayu mangrove yang dikomersialkan dimulai pada tahun 1700an (operasi perusahaan perdagangan Belanda *Vereenigde Oostindische Compagnie/VOC*) serta eksploitasi skala besarnya pada akhir tahun 1800an (berkembangnya perdagangan internasional antara Indonesia, Eropa dan Amerika Serikat dengan Singapura sebagai pelabuhan utamanya).

Lovelock et al. (2015) menyatakan bahwa menurunnya luasan mangrove akan menyebabkan erosi pantai, kemudian akan menyebabkan berubahnya fungsi dari penyerap karbon menjadi sumber karbon (Donato et al., 2011; Grellier et al., 2017), mempengaruhi produktivitas perairan sekitarnya (Aboudha & Kairo, 2001), penurunan hasil tangkapan perikanan (Lewis, 1976), kerentanan terhadap masyarakat pesisir dan kekayaan negara-negara berkembang akibat badai dan banjir (Alongi, 2008; Cochard et al., 2008; Barbier, 2014; Spalding et al., 2014), mengurangi nilai pendapatan tunai maupun penghidupan masyarakat pesisir (FAO, 2007; UNEP, 2014) hingga meningkatkan resiko kepunahan fauna endemik yang ditemukan eksklusif di habitat mangrove (seperti *Nasalis larvatus* dan *Bradypus pygmaeus*) (Luther dan Greenberg, 2009).

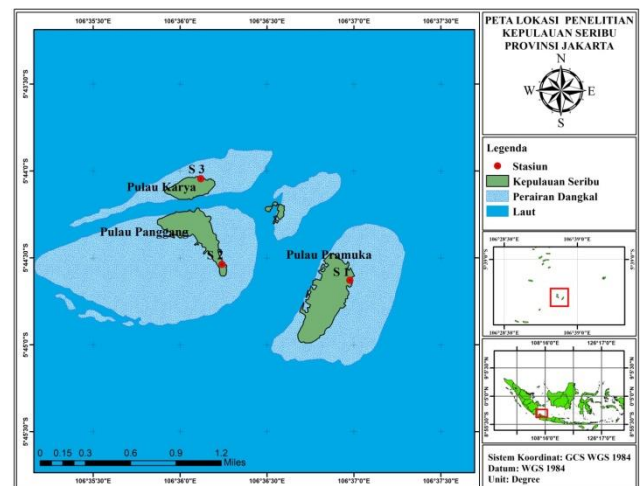
Menurut Leung dan Cheung (2017) reboisasi mangrove telah terbukti memiliki efek positif terhadap fungsi ekologi bahkan di lokasi yang tercemar, sehingga telah dilakukan di seluruh kawasan dunia (Feng et al., 2014; Li et al., 2015; Nusantara et al., 2015; Zvonareva et al., 2015; Liu et al., 2016; Zabbey & Tanee, 2016). Namun, hasil reboisasi tersebut cenderung berbeda antara satu tempat dengan tempat lainnya (Al-Khayat et al., 2019). Selain itu, data mengenai tingkat keberhasilan reboisasi mangrove juga sedikit yang tersedia (Wickramasinghe et al., 2009), apalagi di Indonesia, data reboisasi maupun perubahan tutupan lahan pada tingkat kabupatennya sangat jarang dilaporkan (Basyuni & Sulistiyono, 2018). AboEl-Neil (2001) dan Chen et al. (2009) menyatakan bahwa umumnya kegiatan reboisasi mangrove hanya terfokus pada pertumbuhan dan kelangsungan hidup bibitnya, sedangkan komunitas fauna asosiasinya sering diabaikan (Chen & Ye, 2011), sehingga para ahli banyak melakukan kajian-kajian

yang berkaitan dengan komunitas fauna asosiasi di kawasan reboisasi mangrove, baik itu tentang peran fauna asosiasi terhadap biologinya (Bakkar et al., 2017; Castellanos-Galindo et al., 2017; Fusi et al., 2017; Hendy & Cragg, 2017; Pestana et al., 2017; Raw et al., 2017; Saintilan dan Mazumder, 2017) maupun kajian yang mengevaluasi komposisi spesies dan biomassa fauna asosiasi sebagai barometer dalam pemulihan fungsi habitat mangrove (Skilleter, 1996; Skilleter & Warren, 2000; Macintosh et al., 2002; Ashton et al., 2003; Morrissey et al., 2003; Netto & Galucci, 2003; Bosire et al., 2004; Chapman & Tolhurst, 2004; Chapman & Tolhurst, 2007; Ellison, 2008). Akan tetapi, kajian yang berkaitan dengan komunitas fauna asosiasi (makrozoobentos) di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu masih sangat terbatas. Oleh karena itu, kajian ini sangat perlu dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui faktor lingkungan, distribusi, ekologi komunitas, pola sebaran, serta hubungannya di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu.

2. Bahan dan metode

2.1. Waktu dan tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret 2014 di kawasan reboisasi mangrove Kabupaten Kepulauan Seribu Provinsi Daerah Khusus Ibukota (DKI) Jakarta. Stasiun 1 berada di Pulau Pramuka, Stasiun 2 di Pulau Panggang dan Stasiun 3 di Pulau Karya (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

2.2. Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah rol meter, buku identifikasi siput dan kerang Dharma (1988), data base taksonomi WoRMS/World Register of Marine Species (2019), kamera, GPS Garmin 62 series, kantong plastik polyethylene, data sheet dan cool box. Sementara bahan yang digunakan adalah alkohol 70% untuk pengawetan biota asosiasi mangrovenya.

2.3. Pengumpulan data faktor lingkungan

Pengukuran faktor lingkungan dilakukan dengan cara *in-situ* yaitu mengambil contoh air pada masing-masing stasiun pengamatan, dimana faktor lingkungan yang diukur meliputi suhu perairan, pH dan salinitas dengan menggunakan *water quality meter*. Sementara parameter oksigen terlarut (DO) menggunakan data sekunder.

2.4. Pengumpulan data fauna makrozoobentos

Data fauna makrozoobentos di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu dikumpulkan dengan membuat transek garis dan plot yang ditarik dari titik acuan (tegakan mangrove terluar) dan tegak lurus garis pantai sampai ke daratan. Selanjutnya transek garis dibuat petak-petak contoh (plot) dengan ukuran 10 x 10 m dan di dalam ukuran 10 x 10 m tersebut dibuat plot kecil (sub plot) yang berukuran 1 x 1 m (Ernanto et al., 2010) sebanyak 5 plot. Tiap stasiun terdiri dari 3 plot dan tiap plot terdiri dari 5 sub plot, sehingga jumlah sub plot keseluruhannya adalah 45.

2.5. Ekologi komunitas fauna makrozoobentos

Ekologi komunitas fauna makrozoobentos di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu dianalisis menggunakan indeks keanekaragaman Shannon-Weaver, indeks dominansi Simpson dan indeks keseragaman Shannon-Weaver. Untuk indeks keanekaragaman Shannon-Weaver kriterianya adalah $H' \leq 2.0$ (keanekaragaman rendah), $2.0 < H' \leq 3.0$ (keanekaragaman sedang) dan $H' \geq 3.0$ (keanekaragaman tinggi) (Setyobudiandy et al., 2009), kemudian untuk indeks dominansi Simpson kriterianya adalah $0 < C \leq 0.5$ (dominansi rendah), $0.5 < C \leq 0.75$ (dominansi sedang) dan $0.75 < C \leq 1$ (dominansi tinggi) (Setyobudiandy et al., 2009). Selanjutnya untuk indeks keseragaman Shannon-Weaver kriterianya adalah $0 < E \leq 0.5$ (kemerataan rendah/komunitas dalam keadaan tertekan), $0.5 < E \leq 0.75$ (kemerataan sedang/komunitas dalam keadaan labil) dan $0.75 < E \leq 1$ (kemerataan tinggi/komunitas dalam keadaan stabil) (Setyobudiandy et al., 2009; Kalor et al., 2018).

2.6. Pola penyebaran fauna makrozoobentos

Pola penyebaran fauna makrozoobentos di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu dianalisis menggunakan Indeks Morisita ($I\delta$) (Morisita, 1959; Krebs, 1972; Poole, 1974; Kusmana & Istomo, 1995; Sakai et al., 1999; Jongjitvimol et al., 2005), dimana kriteria indeksnya adalah $I\delta = 1$ (pola penyebarannya acak), $I\delta < 1$ (pola penyebarannya seragam/uniform) dan $I\delta > 1$ (pola penyebarannya mengelompok/clumped).

2.7. Hubungan faktor lingkungan, ekologi komunitas dan pola penyebaran

Untuk mengetahui hubungan antara faktor lingkungan dengan ekologi komunitas, antara faktor lingkungan dengan pola penyebaran dan antara ekologi komunitas dengan pola penyebaran fauna makrozoobentos di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu dilakukan dengan analisis statistik regresi linier sederhana.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Faktor lingkungan

Faktor lingkungan yang diukur di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu tidak begitu berbeda antar stasiunnya (Tabel 1). Hal ini karena letak geografis pulau (stasiun pengamatan) yang tidak terlalu jauh jaraknya. Selain itu, Tabel 1 juga memperlihatkan bahwa parameter-parameter yang diukur tidak melebihi baku mutu untuk kehidupan biota laut, sehingga baik itu mangrove maupun fauna makrozoobentosnya dapat mentolerir untuk kelangsungan hidup mereka. Nobi et al. (2010) menyatakan bahwa kualitas air

dan sedimen sangat penting untuk kelangsungan hidup dan kesejahteraan keanekaragaman hayati, terutama di daerah pesisir dan muara. Hal ini karena lingkungan intertidal mangrove merupakan lingkungan yang dinamis, baik itu secara fisik maupun geologis (Alongi, 2015), sehingga ekosistem mangrove menjadi rentan terhadap pengaruh lingkungan (Ghosh, 2011). Selanjutnya Saintilan et al. (2014) menyatakan bahwa suhu merupakan faktor pembatas yang utama bagi mangrove karena memberikan penjelasan yang korelatif terhadap penyebarannya (Osland et al., 2013), kemudian Nguyen et al. (2015) menyatakan bahwa salinitas adalah salah satu ciri lingkungan yang mendefinisikan habitat mangrove, apakah berkisar antara air tawar ataupun *hypersaline*.

Tabel 1

Faktor lingkungan di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu.

Stasiun	Kualitas air			
	Suhu (°C)	Salinitas (‰)	Ph	*DO
1	32	30	7.7	^A 6.7
2	31	33	6.6	^B 7.0
3	30	31	7.0	^B 6.0
Rata-rata	31.00 ± 1.00	31.33 ± 1.53	7.10 ± 0.56	6.57 ± 0.51
Baku mutu MNLH (2004)	28 – 32	S/d 34	7 – 8.5	>5

*Data sekunder, ^AFaiqoh et al. (2015), ^BRiani et al. (2017)

3.2. Distribusi fauna makrozoobentos

Fauna makrozoobentos yang ditemukan di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu terdiri dari 6 spesies dengan 3 kelompok yaitu 3 spesies gastropoda (*Atilia (Columbella) scripta*, *Littoraria scabra* dan *Nerita albicilla*), 2 spesies kepiting brachyura (*Cardisoma carnifex* dan *Metopograpsus latifrons*) dan 1 spesies bivalva (*Saccostrea cucullata*) (Tabel 2). Selanjutnya, Tabel 2 juga memperlihatkan bahwa gastropoda *L. scabra*, bivalva *S. cucullata* dan kepiting brachyura *C. carnifex* ditemukan merata di semua stasiun. Hal ini mengindikasikan bahwa *L. scabra*, *S. cucullata* dan *C. carnifex* memiliki toleransi yang sangat luas di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu. Menurut Chen et al. (2007) gastropoda famili Littoriniidae lebih representatif pada mangrove muda yang baru direhabilitasi, sedangkan kepiting *C. carnifex* ditemukan berbagi tempat dengan kepiting *Neosarmatium meinerti*, *Chiromantes ortmanni*, *C. eulimene*, *Uca annulipes*, *U. inversa*, ikan *Periophthalmus* spp. dan spesies ikan lainnya di rawa-rawa mangrove Afrika Timur (Micheli et al., 1991; Colombini et al., 1995; Hartnoll et al., 2002; Skov et al., 2002). Selain itu, Bosire et al. (2008) juga menyatakan bahwa spesies kepiting dan moluska lebih banyak ditemukan di habitat mangrove alami daripada kawasan reboisasi mangrove.

3.3. Ekologi komunitas fauna makrozoobentos

Keanekaragaman fauna makrozoobentos di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu tergolong rendah, dominansinya tinggi dan keseragamannya rendah (Tabel 3). Rendahnya keanekaragaman tersebut disebabkan karena mangrove yang ditanam hanya satu jenis (*Rhizophora* spp.) dan masih belum dewasa (matang). Menurut Macintosh et al. (2002) keragaman vegetasi mangrove berkorelasi positif terhadap keragaman fauna terkait, dimana dalam indeks tegakan mangrove yang dewasa terdapat keanekaragaman fauna invertebrata yang lebih tinggi dibandingkan dengan tegakan mangrove yang baru ditanam. Selanjutnya Salmo et al. (2017) menyatakan bahwa kekayaan spesies dan keragaman jenis moluska sangat berbeda antara kumpulannya, kemudian akan berubah seiring dengan usia tegakan mangrove sekitarnya.

Chen dan Ye (2011) menyatakan bahwa di kawasan reboisasi mangrove, gastropoda dan kepiting brachyura (Sesarnid dan Uca) lebih intensif dipengaruhi oleh vegetasi mangrove.

Tabel 2

Distribusi fauna makrozoobentos di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu.

Spesies	Stasiun	Lokasi	Plot		
			1	2	3
<i>Atilia (Columbella) scripta</i>	1	Pramuka			
<i>Littoraria scabra</i>			+	+	+
<i>Nerita albicilla</i>					
<i>Cardisoma carnifex</i>			+		
<i>Metopograpsus latifrons</i>					
<i>Saccostrea cucullata</i>	2	Panggang	+	+	
<i>Atilia (Columbella) scripta</i>					
<i>Littoraria scabra</i>			+	+	+
<i>Nerita albicilla</i>					
<i>Cardisoma carnifex</i>			+		
<i>Metopograpsus latifrons</i>	3	Karya		+	
<i>Saccostrea cucullata</i>			+		+
<i>Atilia (Columbella) scripta</i>				+	
<i>Littoraria scabra</i>			+	+	+
<i>Nerita albicilla</i>					+
<i>Cardisoma carnifex</i>			+		
<i>Metopograpsus latifrons</i>					
<i>Saccostrea cucullata</i>				+	

(+) = Spesies yang ditemukan

Tabel 3

Indeks keanekaragaman, dominansi dan keseragaman fauna makrozoobentos di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu.

Stasiun	Jumlah spesies	H'	C	E
1	104	0.50	0.84	0.13
2	171	0.82	0.76	0.82
3	215	0.29	0.93	0.09
Rata-rata	163.33±55.90	0.54±00.27	0.84±00.09	0.35±00.41
Kategori		Rendah	Tinggi	Rendah

Selain itu, tingginya dominansi fauna makrozoobentos di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu mengindikasikan bahwa hanya spesies-spesies tertentu saja yang memanfaatkan keberadaan mangrove yang belum matang (dewasa) tersebut, dimana spesies tersebut sangat toleran terhadap kekurangan bahan organik maupun kesuburan lingkungan. Ismoyo et al. (2017) menyatakan bahwa kelebihan vegetasi hutan mangrove sangat mempengaruhi kandungan bahan organik di lingkungan mangrove, kemudian Alongi (2002) menyatakan bahwa diperlukan waktu 20 – 25 tahun hasil penanaman mangrove agar menyerupai struktur hutan dan produktivitas hutan mangrove alamnya, misalnya dalam menyuplai nutrisi (Valiela & Cole, 2002; Alongi, 2013).

Selanjutnya, rendahnya keseragaman fauna makrozoobentos di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu mengindikasikan bahwa spesies yang ditemukan tidak bisa beradaptasi dengan baik di semua stasiun, kecuali gastropoda *L. scabra*, bivalva *S. cucullata* dan kepiting brachyura *C. carnifex* yang tersebar merata di semua stasiun. Menurut Pagliosa et al. (2016) fauna bentik yang mengkoloni tanah mangrove merupakan fauna yang sangat toleran terhadap variasi kesuburan, pengeringan, konsentrasi oksigen tanah yang rendah maupun kandungan bahan organik yang tinggi (Cannicci et al., 2008; Lee, 2008; Nagelkerken et al., 2008), kemudian Sasekumar (1974) menyatakan bahwa kepadatan fauna makrozoobentos sangat dipengaruhi oleh konsentrasi salinitas, apabila konsentrasi salinitas perairannya berkurang, maka kepadatannya juga akan berkurang (disebabkan adanya limpasan air sungai di sekitarnya).

3.4. Pola penyebaran fauna makrozoobentos

Pola penyebaran fauna makrozoobentos di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu secara keseluruhannya tergolong seragam/merata (*uniform*) (Tabel 4). Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi lingkungan di semua stasiun pengamatan adalah sama, baik itu substrat, ketersediaan makanan maupun kualitas perairannya. Menurut Alfaro (2006) karakteristik substrat sangat penting bagi kumpulan fauna makrozoobentos, hal ini karena strategi makanan mereka sangat disesuaikan dengan jenis substrat mangrove, dimana sumber makanan utama mereka adalah detritus maupun alga (Rodelli et al., 1984; France, 1998) serta bakteri (Dye & Lasiak, 1986; 1987).

Selain itu, berubahnya kualitas perairan juga akan mempengaruhi kelimpahan serta keanekaragaman biota asosiasi ekosistem mangrove (Purnami et al., 2010; Boudreau & Worm, 2012). Hutchinson (1953) menyatakan bahwa faktor-faktor yang paling berperan terhadap penyebaran suatu organisme adalah: 1) faktor vektorial yang timbul dari gaya eksternal lingkungan (seperti angin, pergerakan air dan intensitas cahaya), 2) faktor reproduksi yang berkaitan dengan model reproduksi dari suatu organisme (seperti kloning dan regenerasi dari keturunan), 3) faktor sosial karena tingkah laku penghuni (seperti tingkah laku teritorial), 4) faktor koaktif yang dihasilkan dari interaksi intraspesifik (seperti kompetisi), dan 5) faktor stokastik yang dihasilkan dari variasi acak pada beberapa faktor di atas.

3.5. Hubungan faktor lingkungan, ekologi komunitas dan pola penyebaran fauna makrozoobentos

Hubungan faktor lingkungan dengan keanekaragaman maupun keseragaman fauna makrozoobentos di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu memperlihatkan bahwa semakin tinggi konsentrasi suhu, salinitas dan DO perairan, maka keanekaragaman serta keseragaman fauna makrozoobentosnya juga semakin tinggi dan merata (berkorelasi positif), sedangkan semakin tinggi pH perairan, maka akan menurunkan keanekaragaman maupun keseragaman fauna makrozoobentosnya (korelasi negatif) (Gambar 2 dan Gambar 3).

Tingginya kadar oksigen terlarut di perairan mengindikasikan bahwa mikroalga, lembaran-lembaran makrofita maupun filamen alga juga tinggi di lokasi tersebut. Hal ini karena alga adalah tumbuhan yang dapat menghasilkan O₂ dan juga merupakan sumber makanan bagi fauna makrozoobentos, sehingga semakin tinggi alga di perairan, maka keanekaragaman maupun keseragaman fauna makrozoobentosnya juga semakin tinggi dan merata (dalam rantai makanan di ekosistem laut, fauna makrozoobentos ada yang tergolong sebagai herbivora).

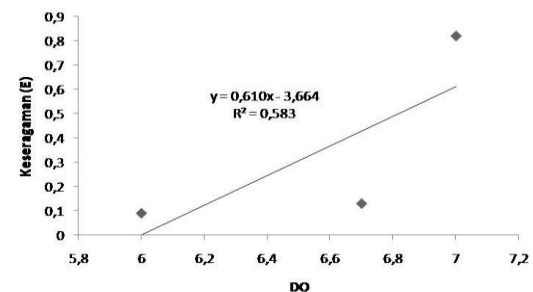
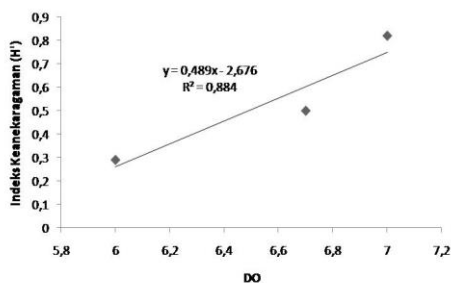
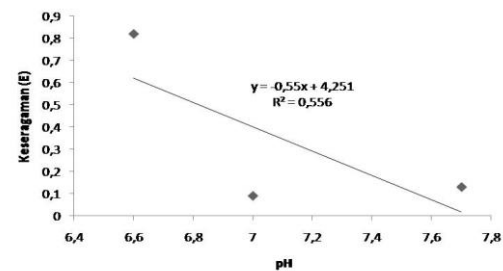
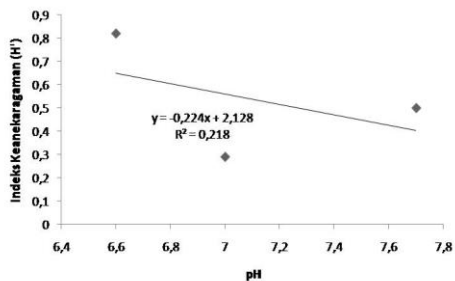
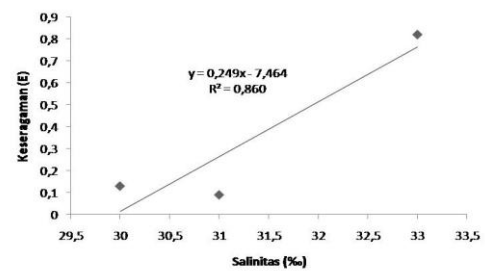
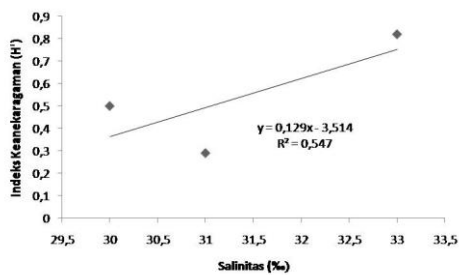
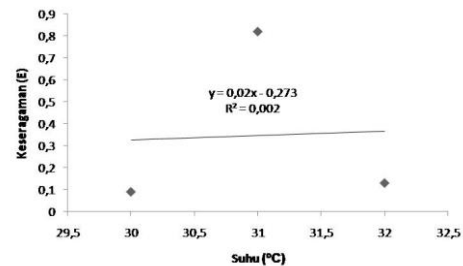
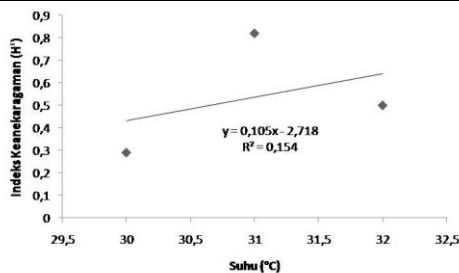
Di samping itu, hubungan antara faktor lingkungan dengan dominansi fauna makrozoobentos di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu memperlihatkan bahwa semakin tinggi konsentrasi suhu, salinitas maupun DO perairan, maka dominansi fauna makrozoobentosnya akan semakin menurun (berkorelasi negatif), sedangkan semakin tinggi pH perairan, maka akan meningkatkan dominansi fauna makrozoobentosnya (korelasi positif) (Gambar 4).

Tabel 4

Pola penyebaran fauna makrozoobentos di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu.

Stasiun	Fauna makrozoobentos	Indeks Morisita ($I\delta$)	Pola penyebaran
1	<i>Littoraria scabra</i>	0.02	Seragam/merata/uniform
	<i>Cardisoma carnifex</i>	0.52	Seragam/merata/uniform
	<i>Saccostrea cucullata</i>	0.00	Seragam/merata/uniform
2	<i>Atilia (Columbella) scripta</i>	0.27	Seragam/merata/uniform
	<i>Littoraria scabra</i>	0.01	Seragam/merata/uniform
	<i>Cardisoma carnifex</i>	0.00	Seragam/merata/uniform
	<i>Metopograpsus latifrons</i>	0.00	Seragam/merata/uniform
	<i>Saccostrea cucullata</i>	3.00	Mengelompok/clumped
3	<i>Atilia (Columbella) scripta</i>	0.00	Seragam/merata/uniform
	<i>Littoraria scabra</i>	0.00	Seragam/merata/uniform
	<i>Nerita albicilla</i>	0.00	Seragam/merata/uniform
	<i>Cardisoma carnifex</i>	0.79	Seragam/merata/uniform
	<i>Saccostrea cucullata</i>	0.00	Seragam/merata/uniform

hasil reaksi oksidasi TOM akan menghasilkan sejumlah ion H^+ yang dapat menurunkan pH perairan.



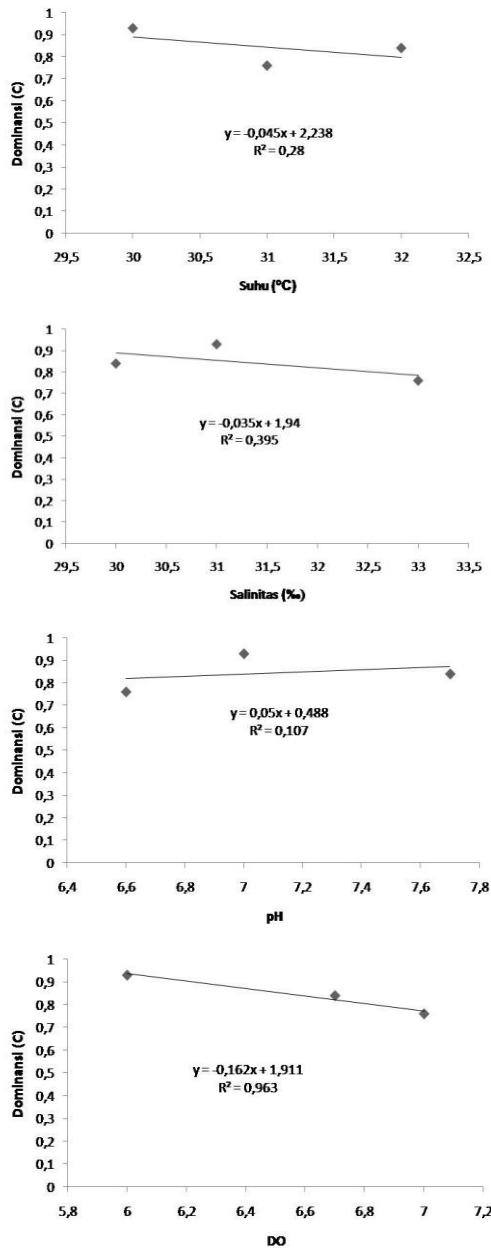
Gambar 2. Hubungan indeks keanekaragaman fauna makrozoobentos dengan faktor lingkungan

Tingginya konsentrasi pH perairan mengindikasikan bahwa lokasi tersebut memiliki kandungan bahan organik yang rendah, sehingga fauna makrozoobentos yang ditemukan hanyalah spesies-spesies tertentu saja. Supriyanti et al. (2017) menyatakan bahwa tingginya kandungan *Total Organic Matter* (TOM) akan menurunkan konsentrasi pH perairan, hal ini karena

Gambar 3. Hubungan indeks keseragaman fauna makrozoobentos terhadap faktor lingkungan

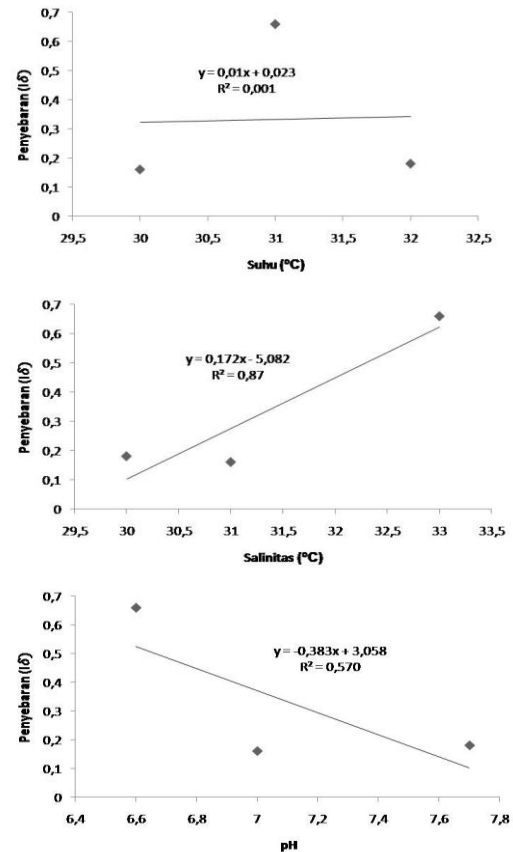
Untuk hubungan antara faktor lingkungan dengan pola penyebaran fauna makrozoobentos di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu, Gambar 5 memperlihatkan bahwa semakin tinggi konsentrasi suhu, salinitas maupun DO perairan, maka pola penyebarannya semakin mengelompok (*clumped*) (berkorelasi positif), sedangkan semakin tinggi pH perairan,

maka pola penyebarannya terlihat acak (korelasi negatif). Tingginya kadar oksigen terlarut di perairan mengindikasikan bahwa mikroalga, lembaran-lembaran makrofita maupun filamen alga juga sangat tinggi, sehingga mengakibatkan komunitas fauna makrozoobentos mengumpul dan membentuk kelompok di sekitar kawasan yang banyak sumber makanannya.



Gambar 4. Hubungan indeks dominansi fauna makrozoobentos terhadap faktor lingkungan

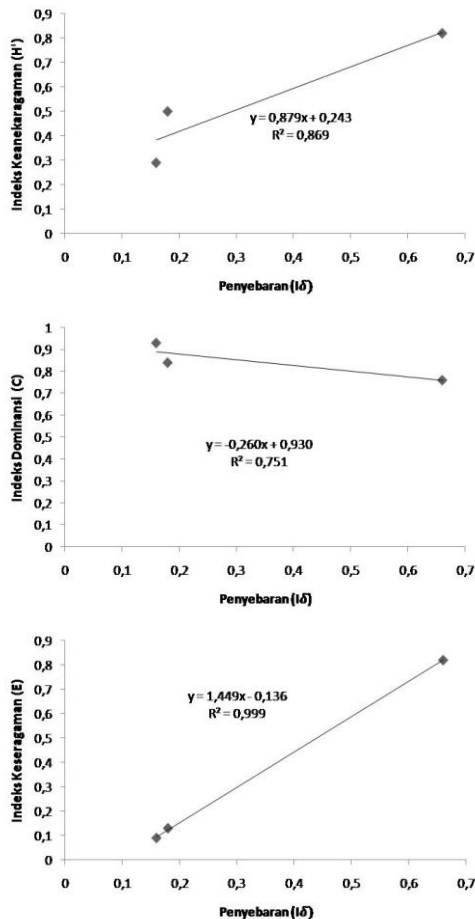
Sementara tingginya konsentrasi pH perairan mengindikasikan adanya tingkah laku yang tidak selektif dari individu-individu fauna makrozoobentos, sehingga mereka berpencar (acak). Kenconoaji et al. (2016) menyatakan bahwa konsentrasi pH yang terlalu rendah akan menyebabkan kematian pada organisme dan meningkatkan kelarutan logam berat di perairan, sedangkan konsentrasi pH yang tinggi akan meningkatkan konsentrasi amoniak dalam perairan dan bersifat toksik bagi organismenya (Tatangindatu et al., 2013).



Gambar 5. Hubungan pola penyebaran fauna makrozoobentos dengan faktor lingkungan

Selanjutnya, untuk hubungan antara ekologi komunitas fauna makrozoobentos dengan pola penyebarannya memperlihatkan bahwa semakin tinggi keanekaragaman dan keseragaman fauna makrozoobentos, maka pola penyebarannya semakin mengelompok (*clumped*) (berkorelasi positif), sedangkan semakin tinggi dominansi fauna makrozoobentos, maka pola penyebarannya akan terlihat acak (korelasi negatif) (Gambar 6). Tingginya keanekaragaman dan keseragaman fauna makrozoobentos mengindikasikan bahwa lokasi tersebut memiliki kualitas lingkungan yang bagus, baik itu unsur hara maupun sumber makanan, sehingga fauna makrozoobentosnya berkumpul secara merata di semua kawasan.

Pemberton dan Frey (1984) menyatakan bahwa pengelompokan menunjukkan bahwa individu-individu berkumpul pada beberapa habitat yang menguntungkan, kejadian ini bisa disebabkan oleh tingkah laku untuk mengelompok, lingkungan yang heterogen, model reproduksi dan sebagainya. Sementara tingginya dominansi fauna makrozoobentos mengindikasikan bahwa lokasi tersebut tidak memiliki kualitas lingkungan yang bagus, dimana hanya spesies-spesies tertentu saja yang dapat bertahan dan berkembang, sehingga menyebabkan fauna makrozoobentosnya berpencar (acak) di berbagai lokasi untuk mencari lingkungan yang bagus. Selain itu, juga dapat diindikasikan adanya tingkah laku yang tidak selektif dari individu-individu fauna makrozoobentos dan mereka berpencar (acak) sesuai dengan pola tingkah laku spesiesnya masing-masing.



Gambar 6. Hubungan ekologi komunitas fauna benthik dengan pola penyebaran

4. Kesimpulan

Faktor lingkungan yang diukur tidak begitu berbeda dan juga tidak melebihi baku mutu untuk kehidupan biota laut. Sebanyak 6 spesies dengan 3 kelompok fauna makrozoobentos telah ditemukan di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu, kemudian keanekaragaman maupun keseragaman fauna makrozoobentosnya tergolong rendah, dominansinya tergolong tinggi dan pola penyebarannya tergolong seragam/merata (*uniform*). Di samping itu, tingginya parameter suhu, salinitas dan DO akan menyebabkan peningkatan keanekaragaman serta keseragaman fauna makrozoobentos di kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu, sedangkan parameter pH dapat menurunkan keanekaragaman dan keseragaman fauna makrozoobentosnya. Sementara, tingginya parameter suhu, salinitas dan DO dapat menyebabkan dominansi fauna makrozoobentos menjadi turun, sedangkan parameter pH dapat meningkatkan dominansi fauna makrozoobentosnya, kemudian tingginya parameter suhu, salinitas serta DO dapat menyebabkan pola penyebaran fauna makrozoobentos menjadi berkelompok (*clumped*), sedangkan parameter pH dapat membentuk pola penyebaran menjadi acak. Selain itu, semakin tinggi keanekaragaman dan keseragaman fauna makrozoobentos, maka pola penyebarannya semakin mengelompok (*clumped*), sedangkan semakin tinggi dominansi fauna makrozoobentosnya, maka pola penyebarannya menjadi acak.

Bibliografi

- AboEl-Nil, M. M., 2001. Growth and establishment of mangrove (*Avicennia marina*) on the coastlines of Kuwait. *Wetlands Ecology and Management*, 9(5): 421 – 428.
- Aboudha, P. A. W., Kairo, J. G., 2001. Human-induced stresses on mangrove swamps along the Kenyan coast. *Hydrobiologia*, 458(1-3): 255 – 265.
- Alfaro, A. C., 2006. Benthic macro-invertebrate community composition within a mangrove/seagrass estuary in northern New Zealand. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66(1-2): 97 – 110.
- Al-Khayat, J. A., Abdulla, M. A., Alatalo, J. M., 2019. Diversity of benthic macrofauna and physical parameters of sediments in natural mangroves and in afforested mangroves three decades after compensatory planting. *Aquatic Sciences*, 81(4): 1 – 11.
- Alongi, D. M., 2002. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, 29(3): 331 – 349.
- 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.
- Alongi, D. M., 2013. Cycling and global fluxes of nitrogen in mangroves. *Global Environmental Research*. 17: 173 – 182.
- Alongi, D. M., 2015. The impact of climate change on mangrove forests. *Current Climate Change Reports*, 1(1): 30 – 39.
- Ashton, E. C., Hogarth, P. J., Macintosh, D. J. 2003. A comparison of brachyuran crab community structure at four mangrove locations under different management systems along the Melaka Straits-Andaman Sea Coast of Malaysia and Thailand. *Estuaries*, 26(6): 1461 – 1471.
- Bakkar, T., Helfer, V., Himmelsbach, R., Zimmer, M., 2017. Chemical changes in detrital matter upon digestive processes in a sesamid crab feeding on mangrove leaf litter. *Hydrobiologia*, 803(1): 307 – 315.
- Barbier, E. B., 2014. A global strategy for protecting vulnerable coastal populations. *Science*, 345(6202): 1250 – 1251.
- Basyuni, M., Sulistiyono, N., 2018. Deforestation and reforestation analysis from land-use changes in North Sumatran Mangroves, 1990-2015. *Dalam: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 7-8 September 2017. Sumatera Utara, Indonesia.
- Bosire, J. O., Dahdouh-Guebas, F., Kairo, J. G., Cannicci, S., Koedam, N., 2004. Spatial variations in macrobenthic fauna recolonisation in a tropical mangrove bay. *Biodiversity and Conservation*, 13(6): 1059 – 1074.
- 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.

- Boudreau, S. A., Worm, B., 2012. Ecological role of large benthic decapods in marine ecosystems: A review. *Marine Ecology Progress Series*, 469: 195 – 213.
- Cannicci, S., Burrows, D., Fratini, S., Smith, T. J., Offenberger, J., Dahdouh-Guebas, F., 2008. Faunal impact on vegetation structure and ecosystem function in mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89(2): 186 – 200.
- Castellanos-Galindo, G. A., Cantera, J., Valencia, N., Giraldo, S., Pena, E., Kluger, L. C., Wolff, M., 2017. Modeling trophic flows in the wettest mangroves of the world: The case of Bahia Malaga in the Colombian Pacific coast. *Hydrobiologia*, 803(1): 13 – 27.
- Chapman, M. G., Tolhurst, T. J., 2004. The relationship between invertebrate assemblages and bio-dependant properties of sediment in urbanized temperate mangrove forests. *Experimental Marine Biology and Ecology*, 304(1): 51 – 73.
- Chapman, M. G., Tolhurst, T. J., 2007. Relationships between benthic macrofauna and biogeochemical properties of sediments at different spatial scales and among different habitats in mangrove forests. *Experimental Marine Biology and Ecology*, 343(1): 96 – 109.
- Chen, G. C., Ye, Y., 2011. Restoration of *Aegiceras corniculatum* mangroves in Jiulongjiang Estuary changed macro-benthic faunal community. *Ecological Engineering*, 37(2): 224 – 228.
- Chen, G., Ye, Y., Lu, C., 2007. Changes of macro-benthic faunal community with stand age of rehabilitated *Kandelia candel* mangrove in Jiulongjiang Estuary, China. *Ecological Engineering*, 31(3): 215 – 224.
- Chen, L., Wang, W., Zhang, Y., Lin, G., 2009. Recent progresses in mangrove conservation, restoration and research in China. *Plant Ecology*, 2(2): 45 – 54.
- Cochard, R., Ranamukhaarachchi, S. L., Shivakoti, G. P., Shipin, O. V., Edwards, P. J., Seeland, K. T., 2008. The 2004 tsunami in Aceh and Southern Thailand: A review on coastal ecosystems, wave hazards and vulnerability. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 10(1): 3 – 40.
- Colombini, I., Bert, R., Ercolini, A., Nocita, A., Chelazzib, L., 1995. Environmental factors influencing the zonation and activity patterns of a population of *Periopthalmus sobrinus* Eggert in a Kenyan mangrove. *Experimental Marine Biology and Ecology*, 190(1): 135 – 149.
- Dharma, B., 1988. *Siput dan Kerang Indonesia (Indonesian Shells)*. Jakarta, Indonesia.
- 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: 293 – 297.
- Dye, A. H., Lasiak, T. A., 1986. Microbenthos, meiobenthos and fiddler crabs: Trophic interactions in a tropical mangrove sediment. *Marine Ecology Progress Series*, 32: 259 – 264.
- Dye, A. H., Lasiak, T. A., 1987. Assimilation efficiencies of fiddler crabs and deposit-feeding gastropods from tropical mangrove sediments. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 87(2): 341 – 344.
- Ellison, A. M., 2008. Managing mangroves with benthic biodiversity in mind: Moving beyond roving banditry. *Sea Research*, 59(1-2): 2 – 15.
- Ernanto, R., Agustriani, F., Aryawati, R., 2010. Struktur komunitas gastropoda pada ekosistem mangrove di muara Sungai Batang Ogan Komering Ilir Sumatera Selatan. *Maspasi*, 1:73-78.
- Faiqoh, E., Ayu, I. P., Subhan, B., Syamsuni, Y. F., Anggoro, A. W., Sembiring, A., 2015. Variasi geografik kelimpahan zooplankton di perairan terganggu, Kepulauan Seribu, Indonesia. *Marine and Aquatic Sciences*, 1: 19 – 22.
- [FAO] Food and Agriculture Organization., 2007. *The World's Mangroves 1980 – 2005: A Thematic Study Prepared in The Framework of The Global Forest Resources Assessment 2005*. Roma, Itali.
- Feller, I. C., Friess, D. A., Krauss, K. W., Lewis, R. R., 2017. The state of the world's mangroves in the 21st century under climate change. *Hydrobiologia*, 803(1): 1 – 12.
- Feng, J., Guo, J., Huang, Q., Jiang, J., Huang, G., Yang, Z., Lin, G., 2014. Changes in the community structure and diet of benthic macrofauna in invasive spartina alterniflora wetlands following restoration with native mangroves. *Wetlands*, 34(4): 673 – 683.
- France, R., 1998. Estimating the assimilation of mangrove detritus by fiddler crabs in Laguna Joyuda, Puerto Rico, using dual stable isotopes. *Tropical Ecology*, 14(4): 413 – 425.
- Fusi, M., Babbini, S., Giomi, F., Fratini, S., Dahdouh-Guebas, F., Daffonchio, D., McQuaid, C. D., Porri, F., Cannicci, S., 2017. Thermal sensitivity of the crab *Neosarmatium africanum* in tropical and temperate mangroves on the east coast of Africa. *Hydrobiologia*, 803(1): 251 – 263.
- Ghosh, D., 2011. Mangroves: The most fragile forest ecosystem. *Resonance*, 16(1): 47 – 60.
- Giri, C., Pengra, B., Zhu, Z., Singh, A., Tieszen, L. L., 2007. Monitoring mangrove forest dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973 to 2000. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73(1-2): 91 – 100.
- Grellier, S., Janeau, J., Nhon, D. H., Cuc, N. T. K., Quynh, L. T. P., Thao, P. T. T., Nhu-Trang, T., Marchand, C., 2017. Changes in soil characteristics and C dynamics after mangrove clearing (Vietnam). *Science of the Total Environment*, 593-594: 654 – 663.
- Hamilton, S. E., Casey, D., 2016. Creation of a high spatio-temporal resolution global database of continuous mangrove forest cover for the 21st century (CGMFC-21). *Global Ecology and Biogeography*, 25(6): 729 – 738.

- Hartnoll, R. G., Cannicci, S., Emmerson, W. D., Fratini, S., Macia, A., Mgaya, Y., Porri, F., Ruwa, R. K., Shunula, J. P., Skov, M. W., Vannini, M., 2002. Geographic trends in mangrove crab abundance in East Africa. *Wetlands Ecology and Management*, 10(3): 203 – 213.
- Hendy, I. W., Cragg, S. M., 2017. *Rhizophora stylosa* prop roots even when damaged prevent wood-boring teredinids from toppling the trees. *Hydrobiologia*, 803(1): 333 – 344.
- Hutchinson, G. E., 1953. The concept of pattern in ecology. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 105(1953): 1 – 12.
- Ilman, M., Dargusch, P., Dart, P., Onrizal., 2016. A historical analysis of the drivers of loss and degradation of Indonesia's mangroves. *Land Use Policy*, 54:448 – 459.
- Ismoyo, U., Hendarto, B., Suryanti., 2017. Analisis bahan organik dengan kualitas tanah terhadap ukuran daun bakau (*Rhizophora mucronata* Lamk) di hutan mangrove Desa Mojo, Ulujami, Pemalang. *Saintek Perikanan*, 12(2): 134 – 138.
- Jongjitvimol, T., Boontawon, K., Wattanachaiyingcharoen, W., Deowanish, S., 2005. Nest dispersion of a stingless bee species, *Trigona collina* Smith, 1857 (Apidae, Meliponinae) in a mixed deciduous forest in Thailand. *The Natural History Journal of Chulalongkorn University*, 5(2):69-71.
- Kalor, J. D., Dimara, L., Swabra, O. G., Paiki, K., 2018. Status kesehatan dan uji spesies indikator biologi ekosistem mangrove Teluk Yotefa Jayapura. *Biosfera*, 35(1): 1 – 9.
- Kenconoajati, H., Suciyo, Budi, D. S., Ulkhaq, M. F., Azhar, M. H., 2016. Inventarisasi keanekaragaman jenis ikan di Sungai Bendo Desa Kampung Anyar Kabupaten Banyuwangi. *Agro Veteriner*, 5(1): 89 – 97.
- Krebs, C. J., 1972. *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. New York: Harper & Row.
- Kusmana, C., Istomo., 1995. *Ekologi Hutan*. Laboratorium Kehutanan Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Lee, S. Y., 2008. Mangrove macrobenthos: Assemblages, services and linkages. *Sea Research*, 59(1-2): 16 – 29.
- Leung, J. Y. S., Cheung, N. K. M., 2017. Can mangrove plantation enhance the functional diversity of macrobenthic community in polluted mangroves?. *Marine Pollution Bulletin*, 116(1-2): 454 – 461.
- Lewis, R. R., 1976. Impacts of dredging in the Tampa Bay Estuary, 1876–1976. *Dalam: Proceedings of The Second Annual Conference of the Coastal Society*. 17 – 20 November 1976. New Orleans, Louisiana. 31 – 55.
- Li, R., Li, R., Chai, M., Shen, X., Xu, H., Qiu, G., 2015. Heavy metal contamination and ecological risk in Futian mangrove forest sediment in Shenzhen Bay, South China. *Marine Pollution Bulletin*, 101(1): 448 – 456.
- Liu, Z., Cui, B., He, Q., 2016. Shifting paradigms in coastal restoration: Six decades' lessons from China. *Science of the Total Environment*, 566–567. 205 – 214.
- 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: 559 – 563.
- Luther, D. A., Greenberg, R., 2009. Mangroves: A global perspective on the evolution and conservation of their terrestrial vertebrates. *Bioscience*, 59(7): 602 – 612.
- Macintosh, D. J., Ashtona, E. C., Havanon, S., 2002. Mangrove rehabilitation and intertidal biodiversity: A study in the Ranong Mangrove Ecosystem, Thailand. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55(3): 331 – 345.
- Micheli, F., Gherardi, F., Vannini, M., 1991. Feeding and burrowing ecology of two East African mangrove crabs. *Marine Biology*, 111(2): 247 – 254.
- [MNLH] Menteri Negara Lingkungan Hidup., 2004. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Tentang Baku Mutu Air Laut Nomor 51*. Jakarta, Indonesia.
- Morisita, M., 1959. Measuring of dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. *Memories of the Faculty of Science Kyushu University Series E (Biology)*, 2(4): 215 – 235.
- Morrisey, D. J., Skilleter, G. A., Ellis, J. I., Burns, B. R., Kemp, C. E., Burt, K., 2003. Differences in benthic fauna and sediment among mangrove (*Avicennia marina* var. *australasica*) stands of different ages in New Zealand. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56(3-4): 581 – 592.
- 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.
- Netto, S. A., Galucci, F., 2003. Meiofauna and macrofauna communities in a mangrove from the Island of Santa Catarina, South Brazil. *Hydrobiologia*, 505(1-3): 159 – 170.
- Nguyen, H. T., Stanton, D. E., Schmitz, N., Farquhar, G. D., Ball, M. C., 2015. Growth responses of the mangrove *Avicennia marina* to salinity: Development and function of shoot hydraulic systems require saline conditions. *Annals of Botany*, 115(3): 397 – 407.
- Nobi, E. P., Dilipan, E., Thangaradjou, T., Sivakumar, K., Kannan, L., 2010. Geochemical and geo-statistical assessment of heavy metal concentration in the sediments of different coastal ecosystems of Andaman Islands, India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87(2): 253 – 264.
- Nusantara, M. A., Hutomo, M., Purnama, H., 2015. Evaluation and planning of mangrove restoration programs in Sedari Village of Kerawang District, West Java: Contribution of PHE-ONWJ coastal development

- programs. *Procedia Environmental Sciences*, 23: 207 – 214.
- Osland, M. J., Enwright, N., Day, R. H., Doyle, T. W., 2013. Winter climate change and coastal wetland foundation species: Salt marshes vs mangrove forests in the Southeastern United States. *Global Change Biology*, 19(5): 1482 – 1494.
- Pagliosaa, P. R., Oortman, M. S., Rovai, A. S., Soriano-Sierra, E. J., 2016. Is mangrove planting insufficient for benthic macrofaunal recovery when environmental stress is persistent?. *Ecological Engineering*, 95: 290 – 301.
- Pemberton, S. G., Frey, R. W., 1984. Quantitative methods in ichnology: Spatial distribution among population. *Lethaia*, 17:33-49.
- Pestana, D. F., Pulmanns, N., Nordhaus, I., Diele, K., Zimmer, M., 2017. The influence of crab burrows on sediment salinity in a Rhizophora-dominated mangrove forest in North Brazil during the dry season. *Hydrobiologia*, 803(1): 295 – 305.
- Poole, R. W., 1974. *An Introduction to Quantitative Ecology*. New York: McGraw-Hill.
- Purnami, A. T., Sunarto, Setyono, P., 2010. Study of bentos community based on diversity and similarity index in Cengklik Dam Boyolali. *Ekosains*, 2(2): 50 – 65.
- Raw, J. L., Perissinotto, R., Bird, M. S., Miranda, N. A. F., Peer, N., 2017. Variable niche size of the giant mangrove whelk *Terebralia palustris* (Linnaeus, 1767) in a subtropical estuary. *Hydrobiologia*, 803(1): 265 – 282.
- Riani, E., Johari, H. S., Cordova, M. R., 2017. Bioakumulasi logam berat kadmium dan timbal pada Kerang Kapak-Kapak di Kepulauan Seribu. *Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(1): 131 – 142.
- Rodelli, M. R., Gearing, J. N., Gearing, P. J., Marshall, N., Sasekumar, A., 1984. Stable isotope ratio as a tracer of mangrove carbon in Malaysian ecosystems. *Oecologia*, 61(3): 326 – 333.
- Saintilan, N., Mazumder, D., 2017. Mass spawning of crabs: Ecological implications in subtropical Australia. *Hydrobiologia*, 803(1): 239 – 250.
- Saintilan, N., Wilson, N., Rogers, K., Rajkaran, A., Krauss, K. W., 2014. Mangrove expansion and salt marsh decline at mangrove poleward limits. *Global Change Biology*, 20(1): 147 – 157.
- Sakai, S., Momose, K., Yumoto, T., Nagamitsu, T., Nagamasu, H., Hamid, A. A., Nakashizuka, T., 1999. Plant reproductive phenology over four years including an episode of general flowering in a lowland dipterocarp forest, Sarawak, Malaysia. *American Journal of Botany*, 86(10):1414 – 1436.
- Salmo, S. G., Tibbetts, I., Duke, N. C., 2017. Colonization and shift of mollusc assemblages as a restoration indicator in planted mangroves in the Philippines. *Biodiversity and Conservation*, 26(4): 865 – 881.
- Sasekumar, A., 1974. Distribution of macrofauna on a Malayan mangrove shore. *Animal Ecology*, 43(1): 51 – 69.
- Setyobudiandi, I., Sulistiono, Yulianda, F., Kusmana, C., Hariyadi, S., Damar, A., Sembiring, A., Bahtiar., 2009. *Sampling dan Analisis Data Perikanan dan Kelautan: Terapan Metode Pengambilan Contoh di Wilayah Pesisir dan Laut*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. Bogor, Indonesia.
- Skilleter, G. A., 1996. Validation of rapid assessment of damage in urban mangrove forests and relationships with molluscan assemblages. *The Marine Biological Association of the United Kingdom*, 76(3): 701 – 716.
- Skilleter, G. A., Warren, S., 2000. Effects of habitat modification in mangroves on the structure of mollusc and crab assemblages. *Experimental Marine Biology and Ecology*, 244: 107 – 129.
- Skov, M. W., Vannini, M., Shunula, J., Hartnoll, R., Cannicci, S., 2002. Quantifying the density of mangrove crabs: Ocypodidae and Grapsidae. *Marine Biology*, 141: 725 – 732.
- Spalding, M. D., Ruffo, S., Lacambra, C., Meliane, I., Hale, L. Z., Shepard, C. C., Beck, M. W., 2014. The role of ecosystems in coastal protection: Adapting to climate change and coastal hazards. *Ocean and Coastal Management*, 90: 50 – 57.
- Supriyanti, E., Nuraini, R., A., T., Fadmawati, A., P., 2017. Studi kandungan bahan organik pada beberapa muara sungai di kawasan ekosistem mangrove, di wilayah pesisir pantai Utara Kota Semarang, Jawa Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*, 6(1): 29 – 38.
- Tatangindatu, F., Kalesaran, O., Rompas, R., 2013. Studi parameter fisika kimia air pada areal budidaya ikan di Danau Tondano, Desa Paleloan, Kabupaten Minahasa. *Budidaya Perairan*, 1(2): 8 – 19.
- [UNEP] The United Nations Environment Programme., 2014. *The Importance of Mangroves to People: A Call to Action*. Cambridge. 128p.
- Valiela, I., Cole, M. L., 2002. Comparative evidence that salt marshes and mangroves may protect seagrass meadows from land-derived nitrogen loads. *Ecosystems*, 5(1): 92 – 102.
- Wickramasinghe, S., Borin, M., Kotagama, S. W., Cochard, R., Anceno, A. J., Shipin, O. V., 2009. Multi-functional pollution mitigation in a rehabilitated mangrove conservation area. *Ecological Engineering*, 35(5): 898 – 907.
- Wolanski, E., Spagnol, S., Thomas, S., Moore, K., Alongi, D. M., Trott, L., Davidson, A., 2000. Modelling and visualizing the fate of shrimp pond effluent in a mangrove-fringed tidal creek. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 50(1): 85 – 97.
- [WoRMS] World Register of Marine Species., 2019. Diakses dari <http://www.marinespecies.org/>.

- Zabbey, N., Tanee, F. B. G., 2016. Assessment of asymmetric mangrove restoration trials in Ogoniland, Niger Delta, Nigeria: Lessons for future intervention. *Ecological Restoration*, 34(3): 245 – 257.
- Zvonareva, S., Kantor, Y., Li, X., Britayev, T., 2015. Long-term monitoring of Gastropoda (Mollusca) fauna in planted mangroves in central Vietnam. *Zoological Studies*, 54(39): 1 – 16.