

STRUKTUR KOMUNITAS MIKROALGA EPIFIT PADA DAUN LAMUN *Enhalus acoroides* DI EKOSISTEM LAMUN SEBAGAI BIOMONITORING PERUBAHAN LINGKUNGAN PULAU-PULAU KECIL DI MALUKU

[*Community Structure of Epiphytes Microalgae in the Enhalus acoroides Leaves as Biomonitoring Environmental Changes in Small Islands in Maluku*]

Irma Kesaulya^{1*}, Imanuel V.T. Soukotta¹, Taufiniringsi Kesaulya²

¹Jurusan Ilmu Kelautan/Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Jl. Martha Alfons. Kampus Unpatti. Poka – Ambon.

²Jurusan Pemanfaatan Sumberdaya Perairan/Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Jl. Martha Alfons. Kampus Unpatti. Poka – Ambon.

ABSTRAK

Epifit mikroalga yang hidup menempel pada daun lamun merupakan organisme yang dapat digunakan sebagai bioindikator di ekosistem laut. Hal ini berhubungan dengan kondisi perairan di pulau-pulau kecil di Maluku yang rentan terhadap fenomena pemanasan global yang memberikan dampak bagi ekosistem lamun di pesisir di pulau-pulau kecil. Sejauh ini, informasi tentang penggunaan epifit mikroalga sebagai bioindikator perubahan ekosistem laut di pulau-pulau kecil di Maluku masih terbatas. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari perbedaan parameter fisik lingkungan dengan menggunakan organisme epifit yang menempel pada daun *Enhalus acoroides* sebagai salah satu bioindikator perubahan parameter fisik perairan seperti suhu, salinitas, dan pH. Tiga stasiun penelitian dipilih mewakili pulau-pulau kecil di Maluku yaitu pulau Haruku (Negeri Ori), pulau Saparua (Negeri Siri Sori) dan pulau Nusalaut (Negeri Akoon). Parameter suhu, salinitas dan pH diukur secara *in situ*, sedangkan sampel organisme epifit diambil dari bagian pangkal dan ujung permukaan daun *Enhalus acoroides*. Sampel diawetkan dan diidentifikasi dengan menggunakan mikroskop serta dihitung kepadatannya. Indeks keragaman jenis organisme epifit dihitung untuk mengkaji distribusi spasial antar stasiun dan antar posisi ujung dan pangkal daun. Hasil penelitian ini menunjukkan variasi perubahan parameter suhu, salinitas dan pH yang kecil antar stasiun di tiga pulau yang berbeda. Epifit yang ditemukan pada ketiga stasiun yaitu *Triceratium* sp., *Chaetoceros* sp., *Coscinodiscus* sp., *Biddulphia* sp., *Planktoniella* sol, *Melosira* sp dan *Synedra* sp. Kepadatan epifit berbeda antara bagian ujung dan pangkal daun, bagian ujung daun sedikit lebih tinggi keragamannya dari pada di pangkal daun. Hasil penelitian ini yang merupakan preliminar studi menunjukkan bahwa mikroorganisme epifit yang hidupnya berkelompok ditemukan pada semua stasiun baik di ujung ataupun pangkal daun *E. acoroides*. Hal ini mengindikasikan bahwa spesies-spesies tersebut dapat beradaptasi dengan struktur mikro gradien fisika-kimia seperti suhu, salinitas dan pH di sekitar ekosistem lamun yang juga mempengaruhi pertumbuhan epifit dan selanjutnya dapat dipakai sebagai bioindikator perubahan lingkungan perairan sebagai akibat dari pemanasan global. Hasil penelitian ini menunjukkan pentingnya menjaga kelestarian ekosistem lamun sebagai habitat dari epifit mikroalga yang juga berperan untuk meningkatkan produktivitas perairan serta dapat dipakai sebagai bioindikator perubahan parameter fisik perairan pantai.

Kata Kunci: Bioindikator, *E. acoroides*, epifit, pulau Haruku, Saparua dan Nusalaut

ABSTRACT

*Microalgal epiphytes can be used as bioindicators in marine ecosystems. This is related to waters around the small islands of Maluku, which are vulnerable to global warming. This might have impacts on seagrass ecosystems along the coasts of these small islands; however, information on microalgal epiphytes as bioindicators of changes in marine ecosystems around the small islands of Maluku remains limited. The objective of this study was to use epiphytic organisms attached to the leaves of *Enhalus acoroides* as a bioindicator of changes in physical parameters of the waters. Three research stations were selected to represent small islands in Maluku, which were in Haruku, Saparua and Nusalaut islands. Temperature, salinity, and pH were measured in situ. Epiphytic were collected from the tips and bases of *E. acoroides* leaves. They were preserved, identified under a microscope, and calculated their density. The species diversity index of epiphytic was calculated to examine the distribution among stations and between the tips and bases of the leaves. The results showed small variations of physical parameters between stations on different islands. Epiphytes found at all stations were *Triceratium* sp., *Chaetoceros* sp., *Coscinodiscus* sp., *Biddulphia* sp., *Planktoniella* sol, *Melosira* sp., and *Synedra* sp. Epiphytes at the leaf tips was slightly higher diversity than those at the leaf bases. The results indicate that epiphytic living in colony/chain were found at the tips and bases of leaves. It's suggesting that these species can adapt to micro-gradients in physical such as temperature, salinity, and pH in seagrass ecosystems. These findings highlight the importance of conserving seagrass ecosystems as habitats for epiphytic microalgae, that can serve as bioindicators of changes in physical parameters of coastal waters.*

Keywords: Bioindicator, *E. acoroides*, Epiphyte, Haruku, Saparua and Nusalaut islands

PENDAHULUAN

Maluku merupakan daerah kepulauan yang terdiri dari berbagai pulau-pulau kecil dengan keunikan-keunikan tersendiri. Informasi tentang keragaman jenis organisme laut di sebagian besar ekosistem lamun di pulau-pulau kecil yang tersebar di Maluku masih sangat terbatas. Pulau Nusalaut, Saparua, dan Haruku adalah pulau-pulau kecil yang dikelilingi laut Banda dan Laut Seram. Pulau-pulau ini memiliki zona pasang surut yang kaya akan sumber daya laut yang rentan terhadap pengaruh pemanasan global yang mengakibatkan naiknya suhu dan paras permukaan laut. Hal ini dapat mengakibatkan hilangnya ekosistem lamun dan mangrove di zona pasang surut di pulau-pulau kecil tersebut.

Epifit merupakan organisme tumbuhan yang hidupnya melekat pada tumbuhan laut seperti lamun dan mangrove. Organisme epifit ini merupakan organisme yang umumnya melekat pada permukaan daun atau batang dari alga yang merupakan inangnya (Zheng *et al.*, 2015) seperti rumput laut (Borowitzka *et al.*, 2006) atau akar mangrove (Hogarth, 2015). Keberadaan organisme epifit yang memanfaatkan alga dan mangrove sebagai habitatnya meningkatkan keragaman pada ekosistem lamun dan mangrove (Gribben *et al.*, 2019). Selanjutnya juga dikatakan bahwa komposisi tertentu dari epifit dapat merupakan sumber nutrisi bagi pertumbuhan lamun pada saat biomas epifit menjadi lebih tinggi dari tumbuhan inangnya (Mazzella and Alberte, 1986). Epifit memberikan kontribusi yang besar bagi produktivitas untuk ekosistem lamun (Borowitzka *et al.*, 2006). Disamping itu juga organisme epifit merubah kondisi dan sumber pada tingkat skala mikro yaitu sebagai sumber makanan (Alvarez-Alvarez *et al.*, 2020), dan melindungi alga lainnya dari kondisi proses keasaman laut (Guy-Haim *et al.*, 2020).

Epifit adalah merupakan produsen primer dalam suatu rantai makanan di laut maka sangat penting untuk memfokuskan penelitian bukan saja pada organisme fitoplankton dan zooplankton yang hidupnya melayang-layang bebas di lapisan perairan tapi juga organisme epifit yang membutuhkan wadah/substrat untuk melekat. Apabila substrat yang dibutuhkan adalah organisme makrophyta maka akan menggambarkan mikroklimat yang membentuk jaringan metabolisme dengan berbagai karakteristik mikrotopografi dan morfologi (Pip and Robinson, 2005). Tumbuhan yang bersifat bentik sangat penting untuk dijadikan objek penelitian karena dapat dijadikan sebagai alat untuk mengasesmen hubungan dari fungsi organisme tersebut dengan kondisi kualitas air dan yang berhubungan dengan transformasi kualitatif dan kuantitatif yang memberikan gambaran tentang kondisi ekologi dari lingkungan tersebut. serta perubahan-perubahan yang terjadi (McCormick and Stevenson, 1998., Kiss *et al.*, 2002). Perubahan hidrologi yang terjadi dapat mengakibatkan

perubahan ekosistem serta struktur komunitas dari tumbuhan benthik (Kiss *et al.*, 2003) maupun organisme pelajik seperti fitoplankton (Kesaulya *et al.*, 2022) dan fase awal pertumbuhan organisme (Kesaulya & Vega, 2019). Struktur dan komposisi dari epifit menggambarkan perbedaan antar habitat perairan laut yang berhubungan dengan perubahan kondisi ekologi dan kualitas air, epifit merupakan indikator yang sensitif dan variasi dari ekosistem untuk jangka panjang (Martinez, *et al.*, 2006; Richardson, 2006). Untuk mendeteksi fenomena ini maka kita perlu mempelajari struktur dan fungsi dari epifit (Lakatos *et al.*, 1999, Acs *et al.*, 2003) secara berkesinambungan.

Organisme epifit juga dipakai sebagai biomonitoring untuk mempelajari perubahan lingkungan dalam hubungannya dengan perubahan cuaca (Wallin *et al.*, 2002, Kiss *et al.*, 2003) sehingga dianggap penting sebagai bioindikator dan biomonitoring untuk mempelajari perubahan ekosistem dan struktur organisme sebagai akibat dari pemanasan global yang mengakibatkan kenaikan suhu permukaan laut yang diperkirakan sebanyak 3°C dan juga kenaikan paras laut (Short and Neckles 1999). Kondisi ini akan memberikan dampak dan pengaruh yang signifikan bagi pulau-pulau kecil yang dikelilingi oleh laut seperti pulau-pulau yang tersebar di Maluku ini, dengan demikian adalah penting untuk mendapatkan data dasar untuk menggunakan komposisi dan kepadatan epifit sebagai biomonitoring untuk mempelajari pengaruh pemanasan global terhadap keragaman jenis organisme epifit.

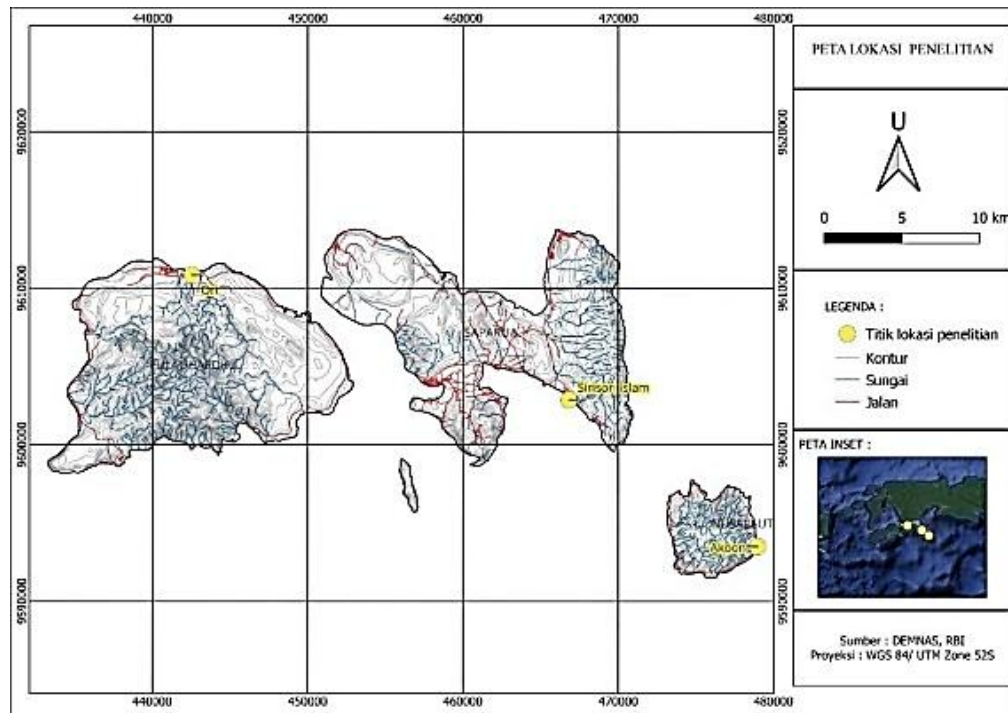
E. acoroides dipilih sebagai substrat epifit karena species ini dapat hidup di substrat berlumpur, berpasir dan fragmen karang serta sangat berbeda dengan jenis lamun lainnya karena memiliki ukuran daun yang panjang dan bentuk seperti pita. Dengan mengetahui komposisi dan variasi spasial dari organisme epifit yang menempel pada daun lamun maka kemudian data ini dapat dipakai sebagai biomonitoring dan bioindikator untuk jangka panjang untuk mempelajari pengaruh dari proses pemanasan global dan kenaikan paras laut terhadap keragaman jenis organisme laut serta struktur komunitas organisme benthik di zona pasang surut di pulau-pulau kecil

Keterbatasan informasi dan pengetahuan tentang struktur komunitas organisme tertentu yang dapat dipakai untuk biomonitoring dan bioindikator dapat mengakibatkan kekeliruan dalam membuat kesimpulan tentang terjadinya perubahan struktur komunitas organisme laut sebagai akibat dari pemanasan global. Dengan demikian adalah penting untuk menginvestigasi komposisi jenis organisme-organisme yang dapat dipakai sebagai bioindikator dan biomonitoring misalnya organisme epifit untuk mempelajari pengaruh pemanasan global terhadap ekosistem dan struktur komunitas organisme laut khususnya di daerah Maluku yang terdiri dari pulau-pulau kecil yang sangat rentan terhadap pengaruh kenaikan suhu dan kenaikan permukaan air laut. Tujuan penelitian ini adalah memberikan informasi komposisi jenis dan variasi spasial dari organisme epifit di ekosistem lamun terutama yang melekat pada daun *E. acoroides* di pulau Nusalaut, Saparua dan Haruku.

BAHAN DAN METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di 3 stasiun di ekosistem lamun masing-masing di perairan pantai negeri Ori di pulau Haruku (Stasiun 1), di perairan pantai negeri Siri Sori di pulau Saparua (stasiun 2) dan di perairan pantai negeri Akoon di pulau Nusalaut (Gambar 1). Sampling di tiap lokasi dilakukan pada saat air bergerak surut.



Gambar 1. Lokasi penelitian di pulau Haruku, pulau Saparua dan pulau Nusalaut (*Research stations in Haruku, Saparua and Nusalaut islands indicated by yellow dots*).

Ekosistem lamun dapat ditemukan pada beberapa lokasi perairan pantai pada pulau-pulau kecil di Maluku terutama di tiga pulau kecil yang menjadi target lokasi penelitian. Ekosistem lamun yang dipilih sebagai lokasi penelitian adalah ekosistem lamun yang secara visual dapat dikatakan memiliki kondisi dasar perairan yang bersih dan bebas dari sampah organik dan inorganik, dengan asumsi bahwa ekosistem lamun tersebut dalam kondisi yang alami dan tidak mengalami tekanan sebagai akibat dari aktivitas manusia.

Teknik pengambilan sampel

Pengambilan sampel lamun untuk mengumpulkan organisme epifit yang menempel pada daun lamun tersebut dengan menggunakan frame (50x50cm) yang ditempatkan secara acak pada 3 titik di ekosistem lamun di stasiun 1, stasiun 2 dan stasiun 3. Sampel daun lamun dikoleksi dengan menggunakan kuadrat 50cm x 50cm. Identifikasi lamun dilaksanakan langsung di lapangan dan daun lamun *E. acoroides* yang berada di dalam frame diambil dari bagian daun (steam) yang dipotong di atas *rhizome* untuk kebutuhan identifikasi dan kemudian dibagi 2 bagian yaitu bagian ujung daun dan bagian pangkal daun. Pengambilan sampel dilakukan pengulangan tiga kali di tiap lokasi.

Pengambilan sampel epifit dilakukan dengan metode *scraping* (Sullivan, 1979). Daun lamun *E. acoroides* digunting $\pm 1.5\text{cm} \times 5\text{cm}$, dibersihkan dengan sikat/kuas yang halus dan materi yang terlepas dari daun lamun ditampung dalam cawan petridisk yang berisi akuades, kemudian diisi dalam botol sampel 50ml dan diawetkan dengan formalin dengan konsentrasi akhir adalah 4%. Botol-botol sampel yang telah diberi label disimpan dalam kotak pendingin dan dibawa ke laboratorium Biologi, MIPA Universitas Pattimura untuk diidentifikasi

Suhu, salinitas dan pH air laut pada ekosistem lamun diukur pada tiap titik sampling. Suhu diukur dengan menggunakan thermometer, salinitas diukur dengan menggunakan refraktometer dan pH air laut diukur dengan menggunakan pHmeter (Lutron pH-222) dan DO diukur dengan DOMeter (Lutron DO-5510). Pengukuran parameter fisik-kimia perairan di lokasi sampling dilakukan pada saat air bergerak pasang.

Analisis sampel

Analisis variasi kualitas air (suhu, salinitas, pH dan DO), keragaman jenis, serta kepadatan organisme epifit menggunakan program Excel.

Epifit diidentifikasi dengan menggunakan mikroskop Carl Zeiss (Primo star) dengan pembesaran 400x dan buku identifikasi yang digunakan adalah standar literatur yaitu Tomas (1997), Yamaji (1979) dan World Register of Marine Species (WORMS) (www.marinespecies.org).

Perhitungan kepadatan epifit dilakukan berdasarkan APHA (2012) yaitu:

$$N(ind/cm)^2 = \frac{n \times At \times Vt}{Ac \times Vs \times As}$$

Dimana:

N = kepadatan epifit (ind/cm²); *n* = jumlah epifit yang terhitung (ind); At = luas dari *cover glass* (20 x 20mm²); Vt = volume total dari sampel di botol (25ml); Ac = luas lapang pandang di mikroskop; Vs = Volume sampel yang diamati (0,05ml); As = luas permukaan daun lamun yang dibersihkan (1.5cm x 5cm)

Untuk mempelajari keragaman jenis organisme epifit pada tiga pulau tersebut maka nilai keragaman jenis untuk indeks keragaman jenis (*H'*), indeks kemerataan (*E*) dan indeks dominansi (*D*) dihitung berdasarkan Zar (1999)

Indeks keragaman jenis

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

dimana $P_i = n_i/N$; n_i = jumlah individu (sel) spesies ke-*i*; N = jumlah total individu

Menurut Krebs (1998), kisaran dari nilai *H'* diklasifikasikan sebagai berikut:

$H' < 1$: keanekaragaman kecil
 $1 \leq H' \leq 3$: keanekaragaman sedang
 $H' > 3$: keanekaragaman tinggi

Indeks keseragaman dihitung dengan formula dari Shannon-Wiener (Zar, 1999) sebagai berikut:

$$e = H'/H_{\max}$$

dimana: *e* = Indeks keseragaman spesies; *H'* = Indeks keanekaragaman ShannonWiener; $H_{\max} = \ln S$ (indeks keanekaragaman maksimum); S = jumlah spesies yang ditemukan

Indeks keseragaman berkisar antara 0-1, dimana:

$E > 0,6$: keseragaman tinggi
 $0,4 \leq E \leq 0,6$: keseragaman sedang
 $0 < E < 0,4$: keseragaman jenis rendah

Indeks Dominansi

Indeks dominansi dihitung menggunakan Indeks Dominansi Simpson (Zar, 1999) dengan rumus sebagai berikut.

$$C = \sum_{i=1}^s (n_i/N)^2$$

dimana: n_i = jumlah sel dari spesies ke-*i*; N = Total jumlah individu

Kriteria untuk indeks dominansi adalah:

$0 < C \leq 0,5$: tidak ada spesies yang mendominasi
 $0,5 < C < 1$: ada spesies yang mendominasi

Untuk menganalisis ada/tidaknya perbedaan salinitas antar stasiun digunakan Mann Whitney test dan analisis tingkat kemiripan genus epifit menggunakan analisis kluster, dengan menggunakan program SPSS.

HASIL

Kondisi hidrologi perairan

Zona pasang surut dimana ditemukan ekosistem lamun di stasiun 1, 2 dan 3 memiliki tipe substrat yaitu stasiun 1 dengan tipe substrat karang papan, stasiun 2 memiliki substrat berpasir dan stasiun 3 memiliki karang papan dan berpasir. Perairan pantai di stasiun 3 memiliki zona pasang surut yang sangat luas dan berhadapan langsung dengan laut terbuka. Zona pasang surut ini juga memiliki jenis substrat yang beragam seperti karang ditemui padang lamun yang luas serta pantai berbatu dan pantai berlumpur yang ditemui ekosistem mangrove. Perairan pantai di stasiun 2 adalah merupakan perairan pantai yang agak terlindung dengan jenis substrat kerikil dan berbatu kecil serta ekosistem mangrove ditemukan dalam jumlah yang tidak terlalu padat. Daerah pasang surut di pantai stasiun 1 memiliki jenis substrat berkarang dan terletak dibagian terdepan dari ekosistem mangrove. Ekosistem lamun dijumpai dalam jumlah yang cukup melimpah dengan sebaran yang merata.

Nilai rata-rata suhu, salinitas dan pH pada ketiga stasiun penelitian dapat dilihat pada Tabel 1. Kisaran suhu pada ekosistem lamun di perairan pantai di stasiun 1, 2 dan 3 adalah 29–30,2°C. Kisaran suhu ini adalah kisaran suhu normal untuk perairan pantai tropis. Begitu juga untuk kisaran salinitas pada ekosistem lamun di perairan pantai di stasiun 1, 2 dan 3 adalah 30–32‰. Kisaran salinitas ini adalah kisaran salinitas untuk perairan pantai tropis yang berhadapan langsung dengan laut terbuka. Kisaran nilai pH pada ekosistem lamun di perairan pantai di stasiun 1, 2 dan 3 adalah 7,7–7,9 (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai rata-rata suhu, salinitas dan pH pada stasiun 1, 2 dan 3 (*Mean values of temperature, salinity and pH at stations 1, 2 and 3*).

Stasiun (Station)	Suhu (Temperature) (°C)	Salinitas (Salinity) (‰)	pH
1	30	30,3	7,7
2	30	31,8	7,8
3	29	31,3	7,7

Kisaran nilai pH ini adalah kisaran pH normal untuk perairan pantai tropis yang berhadapan langsung dengan laut terbuka. Kondisi perairan pantai di ketiga stasiun penelitian tidak terlalu mendapat tekanan dari aktivitas masyarakat sekitarnya mengakibatkan perairan pantai dimana ditemukan lamun ini masih baik dan nilai pH adalah merupakan nilai yang normal untuk suatu perairan pantai tropik.

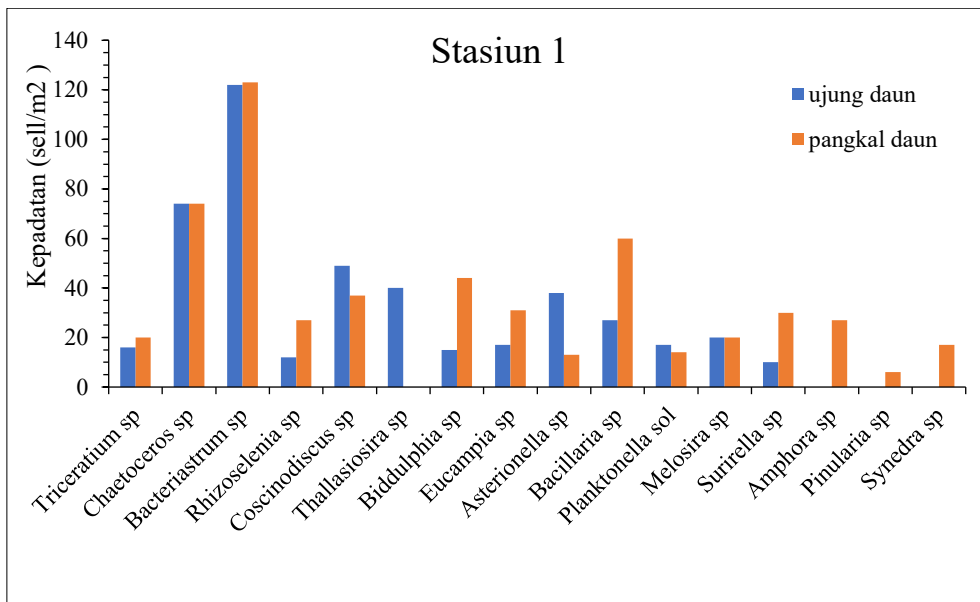
Keragaman dan kepadatan epifit

Keragaman jenis organisme epifit yang menempel pada daun *E. acoroides* di ketiga stasiun penelitian dapat dilihat pada tabel 2. Di stasiun 1 ditemukan 16 genus dari epifit, 9 genus ditemukan di daun lamun di stasiun 2 dan 11 genus epifit yang ditemukan di daun lamun di stasiun 3. Ada 7 genus epifit yaitu *Triceratium* sp., *Chaetoceros* sp., *Coscinodiscus* sp., *Biddulphia* sp., *Planktoniella* sp., *Melosira* sp. dan *Synedra* sp. ditemukan di semua stasiun penelitian sedangkan *Bacteriastrum* sp., *Rhizosolenia* sp., *Eucampia* sp., *Asterionella* sp., *Bacillaria* sp., *Surirella* sp., *Pinularia* sp. dan *Amphora* sp. adalah epifit yang tidak ditemukan pada stasiun 2 dan 3. *Surirella* sp. dan *Amphora* sp. adalah merupakan fitoplankton yang juga hidup di dasar perairan atau bersifat bentik.

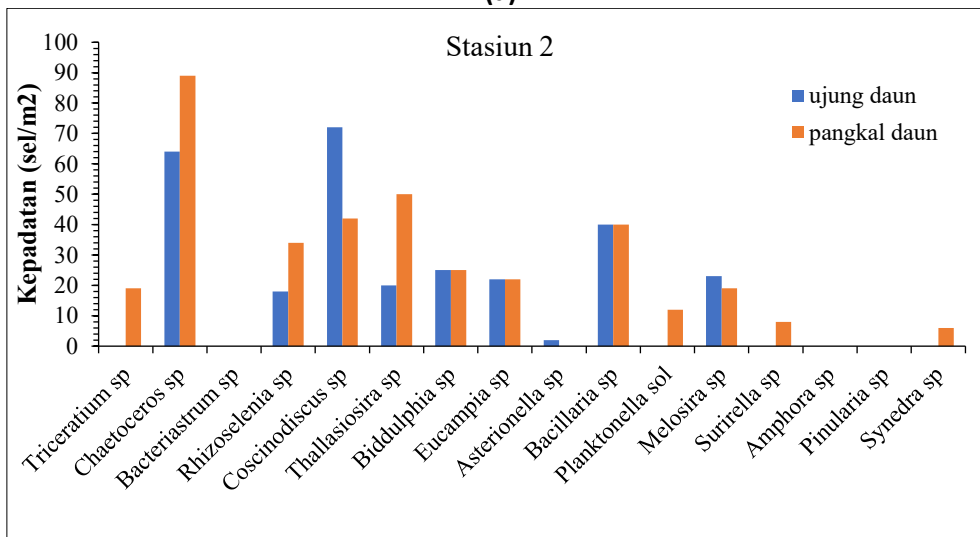
Tabel 2. Komposisi jenis organisme epifit yang ditemukan pada daun *E. acoroides* di ketiga lokasi penelitian (*Diversity of epiphyte attached in the leaf of E. acoroides in station 1,2 and 3*).

No	Genus	St 1	St 2	St 3
1	<i>Triceratium</i> sp	√	√	√
2	<i>Chaetoceros</i> sp	√	√	√
3	<i>Bacteriastrum</i> sp	√	x	√
4	<i>Rhizoselenia</i> sp	√	√	x
5	<i>Coscinodiscus</i> sp	√	√	√
6	<i>Thallasiosira</i> sp	√	√	√
7	<i>Biddulphia</i> sp	√	√	√
8	<i>Eucampia</i> sp	√	√	-
9	<i>Asterionella</i> sp	√	-	-
10	<i>Bacillaria</i> sp	√	√	-
11	<i>Planktoniella</i> sol	√	√	√
12	<i>Melosira</i> sp	√	√	√
13	<i>Surirella</i> sp	√	-	-
14	<i>Pinularia</i> sp	√	-	√
15	<i>Amphora</i> sp	√	-	√
16	<i>Synedra</i> sp	√	√	√
Jumlah genus		14	10	9

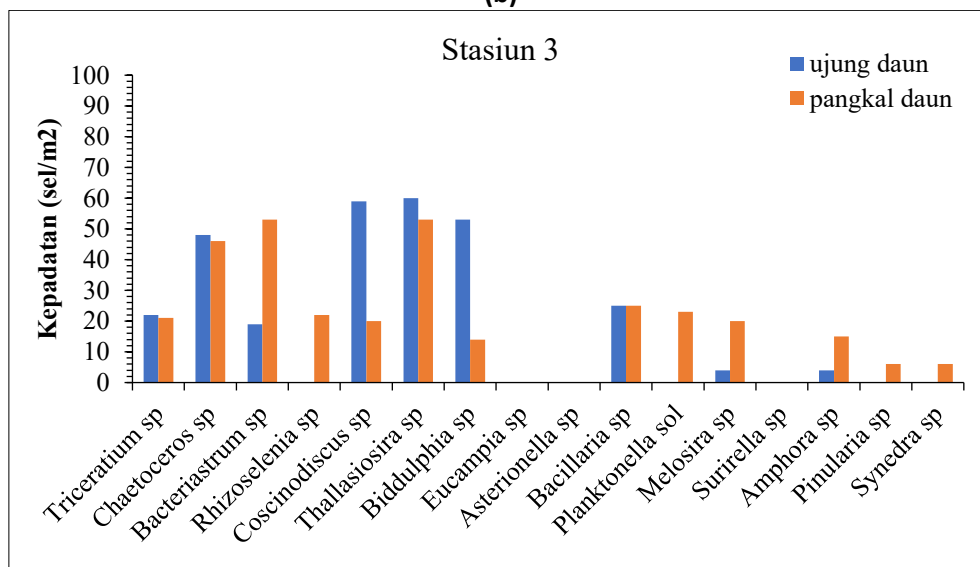
Disamping itu, kepadatan epifitit juga bervariasi pada sampel yang diambil dari ujung dan pangkal daun (Gambar 5a-c). Sebagian besar jenis epifit yang melekat pada pangkal daun memiliki kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis yang sama yang ditemukan di ujung daun hanya ada beberapa jenis epifit yang memiliki kepadatan yang sama baik di ujung maupun pangkal daun. Jenis-jenis epifit tersebut adalah *Chaetoceros* sp. dan *Melosira* sp. di stasiun 1 (Gambar 5a), *Biddulphia* sp, *Eucampia* sp dan *Bacillaria* sp di stasiun 2 (Gambar 5b) dan jenis *Bacillaria* sp di stasiun 3 (Gambar 5c).



(a)



(b)



(c)

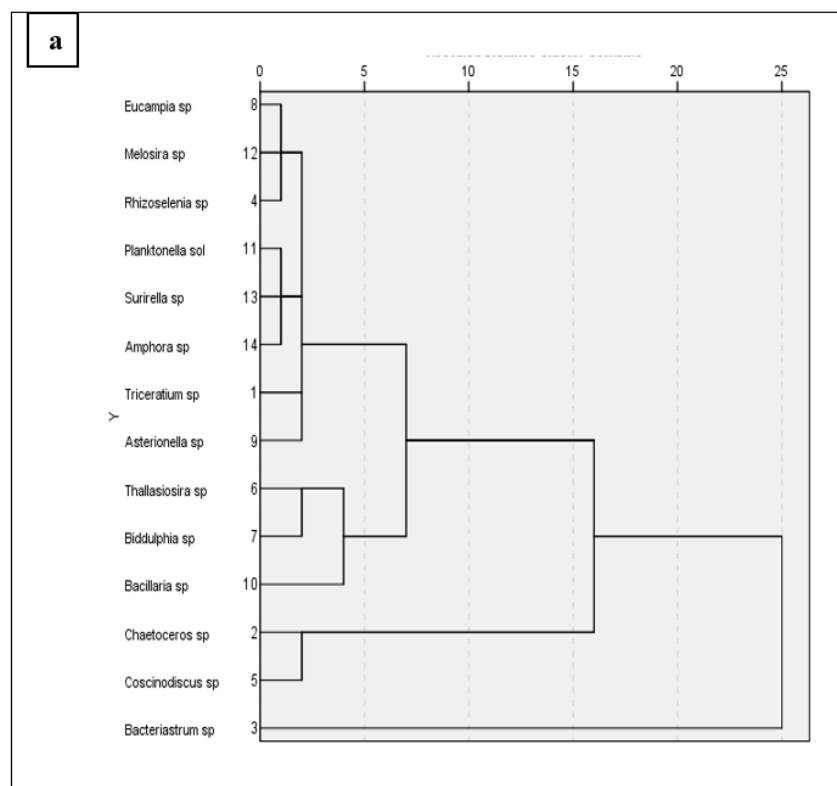
Gambar 5. Kepadatan epifit di ujung dan pangkal daun *E. acoroides* di St. 1 (a), St. 2 (b) dan St. 3 (c) (*The abundance of epiphyte in the top and bottom of the leaf of E acoroides St. 1 (a), St. 2 (b) dan St. 3 (c).*

Nilai dari indek ekologi H' dan D dapat dilihat pada tabel 2. Nilai H' dari organisme epifit yang ditemukan di ujung daun *E. acoroides*. berkisar antara 1,89-2,26, sedangkan di pangkal daun berkisar antara 0,98-2,25. Ini menunjukkan bahwa keanekaragaman organisme epifit di ujung daun ada pada katogori sedang, sedangkan di pangkal daun ada pada katogori kecil-sedang. Untuk nilai C di ketiga stasiun baik di ujung ataupun pangkal daun *E. acoroides*. dengan kisaran nilai indeks dominansi (C) = 0,11-0,13 (Tabel 3), menunjukkan bahwa tidak ada spesies epifit yang mendominasi.

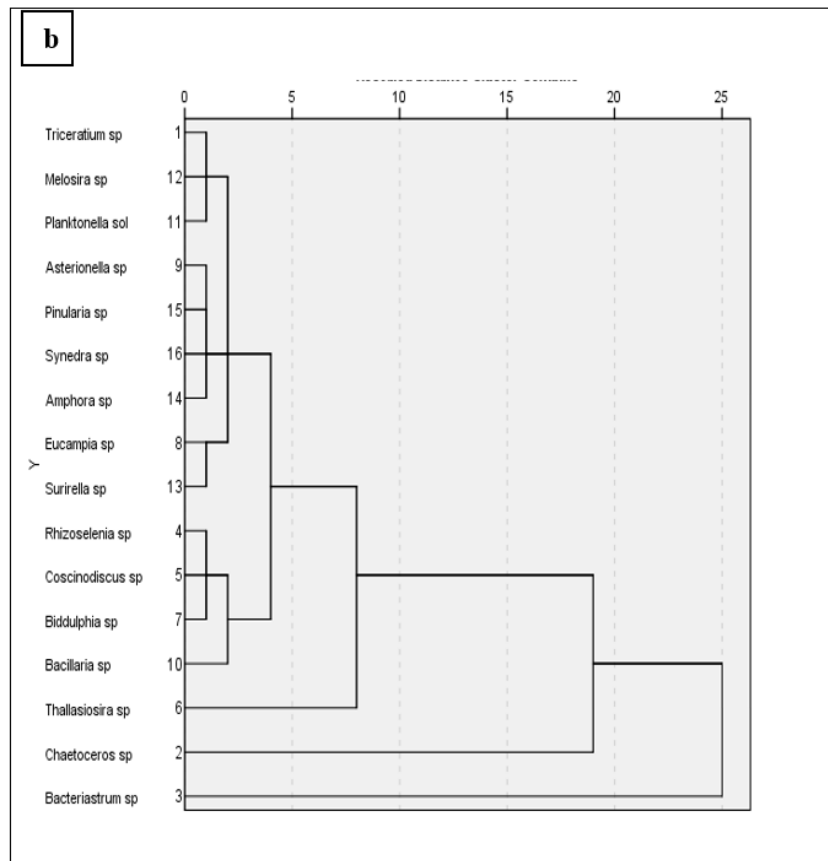
Tabel 3. Indeks keragaman jenis (H'), indeks keseragaman (e), dan indeks dominansi (C) organisme epifit di daun *E. Acoiroides* (*Biodiversity index (H'), similarity index (e), and dominancy index (C) of epiphyte in upper part of *E. acoiroides* leaf station 1,2 and 3).*

Bagian daun (Part of Leaf)	Stasiun 1 (Station 1)			Stasiun 2 (Station 1)			Stasiun 3 (Station 1)		
	H'	e	C	H'	e	C	H'	e	C
Ujung daun (<i>Leaf Tips</i>)	2,26	0,88	0,14	1,97	0,89	0,16	1,89	0,86	0,16
Pangkal daun (<i>Leaf base</i>)	1,38	0,51	0,11	2,25	0,91	0,13	0,98	0,38	0,11

Semua nilai kepadatan epifit di bagian ujung daun memiliki nilai yang signifikan ($<0,05$), ini dapat diartikan bahwa kepadatan semua genus epifit di bagian ujung daun di stasiun 1, 2 dan 3 dapat digunakan untuk membedakan tiap kluster (gambar 6a-b). Gambar 6a-b menunjukkan bahwa untuk epifit yang ditemukan pada daun lamun *E. acoroides* memiliki kepadatan yang hampir sama akan berada pada posisi yang berdekatan dan berkelompok pada jarak yang kecil, sedangkan jenis epifit yang berkelompok dengan jarak yang besar berarti berbeda kepadatan dari kelompok lainnya dan juga mempunyai sifat hidup dalam bentuk sel yang berkelompok/rantai.



Gambar 6. Analisis kluster berdasarkan kepadatan organisme epifit (*Cluster analysis based on the abundance of epiphyte of *E. acoroides**). Ket. (remark): a: pada ujung daun *E. acoroides* (a: at the upper part of *E. acoroides* leaf).



Gambar 6. Lanjutan (continued). Ket. (Remark): b: Pangkal daun *E. acoroides* (b: lower part of *E. acoroides* leaf).

PEMBAHASAN

Ekosistem lamun di tiga stasion penelitian yang terletak di 3 pulau kecil di Maluku memiliki kondisi parameter hidrologi perairan tropik. Kondisi parameter oseanografi perairan tropik memiliki variasi perubahan yang kecil dan penting untuk mendukung keberlanjutan ekosistem lamun yang merupakan salah satu substrat bagi organisme epifit. Perubahan lingkungan perairan seperti pemanasan global dapat memberikan dampak untuk ekosistem lamun (Orth, *et al.*, 2006) dan berpengaruh bagi keberadaan organisme epifit yang hidup berasosiasi dengan ekosistem lamun dan faktor pendukung produktivitas di perairan tersebut. Kisaran nilai pH di ekosistem lamun di ketiga lokasi penelitian yaitu 7,7-7,9 yang menunjukkan bahwa kisaran nilai pH di ekosistem lamun yang merupakan habitat organisme epifit di ketiga pulau kecil ini sangat sempit sehingga dapat diasumsikan akan rentan terhadap perubahan kondisi perairan ekosistem lamun sebagai dampak dari proses pemanasan global. Hal ini juga dijelaskan oleh Wood (1972) bahwa besarnya kisaran pH (5.8-9.4) di ekosistem lamun dapat berdampak terhadap pengurangan beberapa spesies dari organisme epifit di ekosistem lamun. Asosisasi tumbuhan lamun dan epifit dikatakan lebih didasari pada habitat lamun dibandingkan dengan permukaan lamun yang merupakan host bagi epifit (Harlin *et.al.*, 1985) sehingga kondisi hidrologi perairan pada habitat lamun akan menentukan keberadaan epifit di suatu ekosistem lamun.

Organisme epifit yang dijumpai hidup menempel pada permukaan daun *E. acoroides* memiliki kepadatan yang berbeda di bagian pangkal dan ujung daun. Pada gambar 5a-c menunjukkan bahwa kepadatan organisme epifit bervariasi baik antar stasiun maupun di tiap stasiun antara bagian ujung daun dan pangkal daun. Hasil uji Mann Whitne menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$) antara kepadatan epifit di bagian ujung daun dan pangkal daun. Hal yang sama juga dilaporkan oleh Kiss *et al.*, (2002) bahwa kepadatan organisme epifit di permukaan daun lamun bervariasi pada ujung dan pangkal daun lamun. Perbedaan ini diakibatkan oleh perbedaan parameter fisik dan kimia perairan dan karakteristik dari lamun itu sendiri (Pip & Robinson, 1984). Perbedaan kepadatan ini dapat diasumsikan karena pengaruh arus terhadap kepadatan epifit pada daun lamun

terutama bagian ujung daun dan pangkal daun. Ujung daun akan terkena pengaruh angin dan arus permukaan yang bervariasi kecepatannya, sedangkan untuk pangkal daun tidak akan dipengaruhi oleh arus yang disebabkan oleh angin dan kondisi perairan di dasar pantai lebih stabil sehingga organisme yang menempel pada daun lamun tidak mudah untuk terlepas. Hal ini akan berlawanan dengan kondisi organisme epifit yang menempel di ujung daun lamun. Faktor lain seperti struktur padang lamun, ketersediaan cahaya dan panjang *shoot* serta grazing juga berpengaruh bagi keragaman jenis organisme epifit di padang lamun (Reid, 2000; Prado *et al.*, 2007) namun parameter ini tidak diteliti dalam penelitian ini.

Nilai indeks biodiversitas dari epifit bervariasi antar ujung daun dan pangkal daun. Nilai dari H' menunjukkan bahwa keanekaragaman organisme epifit di ujung daun berada pada kategori sedang sedangkan di pangkal daun berada pada nilai kecil-sedang, selanjutnya untuk nilai indeks keseragaman (e) menunjukkan bahwa epifit yang dijumpai pada ujung daun lebih berimbang dalam hal jumlah antar spesies dibandingkan dengan di pangkal daun terutama di stasiun 3. Sedangkan nilai C yang rendah menunjukkan bahwa tidak ada spesies yang mendominasi distribusi organisme epifit baik di pangkal maupun ujung daun. Keberadaan epifit pada lamun memiliki peran penting dalam menjaga kestabilan ekosistem dengan penyebaran yang merata tanpa didominasi oleh spesies tertentu (Marsiglia *et al.*, 2025). Faktor lain yang juga dapat mempengaruhi distribusi epifit di daun lamun ini adalah kondisi fase pertumbuhan daun (Huang *et al.*, 2024) dan parameter lingkungan mikrohabitat (Marsiglia *et al.*, 2025) karena menurut Brodersen dan Kuhl (2022) daun lamun memiliki struktur mikrogradien fisik-kimia seperti cahaya, oksigen terlarut dan ketersediaan unsur-unsur hara yang mempengaruhi pertumbuhan epifit. Perbedaan ini terjadi antara ujung daun dan pangkal daun lamun yang kemudian menghasilkan variasi keanekaragaman organisme epifit.

Selanjutnya dengan hasil analisis kluster menunjukkan bahwa untuk epifit dari genus *Surirella* sp. dan *Amphora* sp. memiliki kesamaan baik dalam hal kepadatan sel di bagian ujung daun maupun sifat hidup yang juga dapat ditemukan sebagai bentik diatom. *Surirella* sp. dan *Amphora* sp. yang juga merupakan diatom bentik memiliki pertumbuhan yang lebih baik di dasar perairan yang berpasir (Di Pippo *et al.*, 2018), yang juga merupakan tipe substrat dari ekosistem lamun di ketiga lokasi penelitian, sehingga diasumsikan bahwa ini merupakan salah satu faktor tingginya kepadatannya sebagai organisme epifit di daun *E. acoroides*. Sedangkan untuk *Chaetoceros* sp. dan *Bacteriastrium* sp. memiliki cara hidup berkelompok/rantai. Kedua genus ini juga terdistribusi luas (diatom yang bersifat kosmopolitan) baik di perairan *temperate* maupun perairan tropik (Finlay 2002; Villarino *et al.*, 2018), seperti juga yang dikatakan oleh Barsanti and Gualtieri (2022) bahwa genus ini toleran terhadap fluktuasi salinitas, dengan demikian memiliki kepadatan yang lebih banyak dibandingkan dengan jenis epifit lainnya karena mampu bertoleransi terhadap kisaran suhu dan salinitas yang luas.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa stabilitas hidrologi perairan tropik menjadi faktor kunci dalam mendukung keberlanjutan asosiasi lamun–epifit. Epifit berperan penting dalam menjaga kestabilan ekosistem lamun melalui distribusi yang merata tanpa dominansi spesies tertentu dan epifit dari genus yang hidupnya berkelompok memberikan indikasi kemampuan hidup di kondisi variasi hidrologi di pulau-pulau kecil.

KONTRIBUSI PENULIS

IK: membuat konsep penelitian, mengumpulkan data penelitian, identifikasi, membuat draf artikel, merevisi naskah akhir; IVTS: tabulasi dan analisis data; TK: sampling dan analisis data, *proof read*.

REFERENSI

- Ács, É., Borsodi, A.K., J. Makk, J. Molnar, P., Mozes, A., Rusnyak, A., Reskone, M.N., Kiss, K.T. 2003. Algological and bacteriological investigation on reed periphyton in Lake Valencia, Hungary. *Hydrobiologia*, 506, pp.549-557.
- Alvarez-Alvarez, J.E., Quiroz-Gonzalez, N., Rodriguez-Munoz, D.L., Aguilar-Estrada, L. G. 2020. Epiphytic algae in *Padina durvillei* and *P. Crispata* (Dyctiotaceae, phaeophyceae) in the Mexican tropical Pacific. *Acta Botanica Mexicana*, pp.1-16. <https://doi.org/10.21829/abm127.2020.1594>
- American Public Health Association (APHA). 2012. *Standard Methods for the examination of water and wastewater* 22nd ed. United Book Press Inc. Maryland.
- Barsanti, L., Gualtieri, P. 2022. *Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology* (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003187707>.
- Borowitzka, M., Lavery, P., Van Keulen, M. 2006. Epiphytes of seagrasses. In: Larkum, A., Orta, R., Duarte, C. (Eds). *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer, Dordrecht, pp.441-461.
- Brodersen, K.E., Kuhl, M. 2022. Effects of epiphytes on the seagrass phyllosphere. *Frontiers in Marine Science*, 9, p.821614. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.821614>.
- Di Pippo F, Magni P., Congesti R. 2018. Microphytobenthic biomass, diversity and exopolymeric substances in a shallow dystrophic coastal lagoon. *Journal of Marine Microbiology*, 2(1), pp.06-12.
- Finlay, B.J. 2002. Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. *Science*, 296, pp.1061-1063. Doi:10.1126/science.10760710
- Gribben, P. E., Angelini, C., Altieri, A.H., Bishop, M.J., Thomsen, M.S., Bulleri, F. 2019. *Facilitation cascades in marine ecosystems: a synthesis and future directions*. In: Hawkins, S.J., Allcock, A., Bates, A., Firth, L., Smith, I., Swearer, S., Todd, P. (Eds), *Oceanography and Marine Biology*. CRC Press New York, pp.127-168. <https://doi.org/10.1201/9780429026379-3>.
- Guy-Haim, T., Silverman, J., Wahl, M., Aguirre, J., Noisette, F., Rilov, G. 2020. Epiphytes provide micro-scale refuge from ocean acidification. *Marine Environmental Research*, 161, p.105093. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105093>.
- Harlin, M.M., Woelkerling, W.J., Walker, D.I. 1985. Effects of hypersalinity gradient on epiphytes Corallinaceae (Rhodophyta) in Shark Bay, Western Australia. *Phylogia*, 24, pp.389-402. <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-24-4-389.1>.
- Hogarth, P.J. 2015. *The Biology of Mangroves and Seagrasses*, 3rd ed. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000008591.89558.75>
- Huang, C., Mehrubeoglu, M., Pinon, C., Cammarata, K. 2024. An image analysis method to study the relationship between seagrass and their epiphytes. *Marine Biology*, 172, p.26. <https://doi.org/10.1007/s00227-024-04577-1>
- Kesaulya, I., Rumohira, D.R., Saravanakumar, A. 2022. The abundance of *Gonyaulax polygramma* and *Chaetoceros* sp. causing blooming in Ambon Bay. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 27(1), pp.13-19.
- Kesaulya, I., Vega, R. 1999. Effects of hypersaline conditions on the growth and survival of larval red-drum (*Sciaenops ocellatus*). *Jordan Journal of Biological Sciences*, 12 (1), pp.119-122.
- Kiss M. K., Ács, É., Barkacs, K., Borics, G., Boddi, B., Ector, L., Solymos, G.K., Szabo, K., Varga, A., Varga, I. 2002. Qualitative short – term effect of cyanide and heavy metals pollutions on phytoplankton and periphyton in the Rivers Tisza and Szamos (Hungary). *Archiv für Hydrobiologie. Supplementbände*, 141(1-2), pp.47-72.
- Kiss, K. T., Ács, É., Barkács, K., Borics, G., Böddi, L., Ector, L., Koloszá, J., Szabó, A., Varga, A., Varga, I. 2002. Qualitative short-term effects of cyanide and heavy metal pollution on phytoplankton and periphyton in the Rivers Tisza and Szamos (Hungary). *Large Rivers*, 13(1–2), pp.47–72.
- Kiss M. K., Lakatos, G., Borics, G., Gido, Z., Deak, C. 2003. Littoral macrophyte – periphyton complexes in two Hungarian shallow waters. *Hydrobiologia*, 506, pp.541-548.

- Krebs, C.J. 1998 *Experimental analysis of distribution of abundance* 3rd ed. Harper and Row Publ., New York.
- Lakatos, G., Kiss, M., Meszaros, I. 1999. Heavy metal content of common reed (*Phragmites australis*/Cav./Trin.ex Steudel) and its periphyton in Hungarian shallow standing waters. *Hydrobiologia*, 415, pp.47-53.
- Marsiglia, N., Bosch-Belmar, M., Mancuso, F. P., Sara S. 2025. Epibionts and ephyphytes in seagrass habitats: A global analysis of their ecological roles. *Science*, 7(2). pp.62.
- Martinez, B., Verges, T., Verges, T.A., Prado P., Romero, J., Alcoverro, T. 2006. Seagrass ecosystems as biological indicators. *Proceedings of the second Mediterranean Symposium on Marine Vegetation*.
- Mazzella, L., Alberte, R. S. 1986. Light adaptation and the role of autotrophic epiphytes in primary production of the temperate seagrass, *Zostera marina* L. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 100, pp.165-180. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(86\)90161-9](https://doi.org/10.1016/0022-0981(86)90161-9).
- McCormick P. V., Stevenson, R.J. 1998. Periphyton as a tool for ecological assessment and management in Florida Everglades. *Journal of Phycology*, 34, pp.726 – 733.
- Orth, R.J., Carruthers, T.J.B., Dennison, W.C., Duarte, C.M., Fourqurean, J.W., Heck, K.L., Hughes, A.R., Kendrick, G.A., Kenworthy, W.J., Olyarnik, S., *et al.* 2006. A global crisis for seagrass ecosystem. *Bioscience*, 56, pp.987-996.
- Pip E., Robinson, G.G.C. 2005. A comparison of algal composition on eleven species of submerged macrophytes *Hydrobiological Bulletin*, 18(2), pp.109-118.
- Pip, E., Robinson, G.G.C.1984. A comparison of algal periphyton composition on eleven species of submerged macrophytes. *Hydrobiological Bulletin*, 18, pp.109-118.
- Prado, P., Alcoverro, T., Martinez-Crego, B., Verges, A., Perez, M., Romero, J. 2007. Macrograzers strongly influence patterns of epiphytes assemblages in seagrass meadow. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 350, pp.130-143.
- Reid, T.R. 2000. *The effect of leaf movement on algal epiphytes in seagrass meadows*. Thesis. Edith Cowan University. https://re.ecu.edu.au/theses_hons/pp345.
- Richardson, S.L. 2006. Response of epiphytic foraminiferal communities to natural eutrophication in seagrass habitats off Man O'War Cay, Belize. *Marine Ecology*, 27, pp.404-416.
- Short, F.T., Neckles, H.A. 1999. The effect of global climate changes on seagrasses. *Aquatic Botany*, 63, pp.169-196.
- Sullivan, M.J. 1979. Epiphytic Diatoms of the Three Seagrass species in Mississippi Sound. *Bull Marine Science*, 29(4), pp.459-464.
- Tomas, C. R. 1997. *Identifying marine phytoplankton*. Academic Press, Florida.
- Villarino, E., Watson, J.R., Jonsson, B., Gasol, J. M., Salazar, G., Acinas, S.G., Estrada, M., Massana, R., Logares, R., Giner, C.R., *et al.* 2018. Large-scale ocean connectivity and planktonic body size. *Nature Communication*, 9, p.142.
- Wallin M., Wiederholm, T. and Johnson, R. K. 2002. *Guidance on establishing reference conditions and ecological status class boundaries for inland surface waters. 5th and Final draft version 2002-12-20*. CIS working group 2.3- REFCOND.
- Wood, E.J.F. 1972. Substratum; Unicellular plants. In: *Marine Ecology* (Ed. O. Kinne). *Biologische Anstalt Helgoland*. pp.1271-1322.
- World Register of Marine Species (WORMS) (www.marinespecies.org)
- Yamaji, E. E. 1979. Illustration of marine plankton of Japan. Hoikusha publ. Osaka, Japan, pp.536.
- Zar, J.H. 1999. Biostatistical Analysis. 4th Edition. Prentice International, Inc. USA.
- Zheng, X., Huang, L., Lin, R. and Du, J. 2015. Roles of epiphytes associated with macroalgae in benthic food web of a eutrophic coastal lagoon. *Continental Shelf Research*, 110. pp.201-209. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.10.013>.