

Analisa Mikroalga di Perairan Pelabuhan Provinsi Aceh untuk Deteksi Awal Adanya Invasif Spesies

Syahrial*, Muhammad Hatta, Arina Ruzanna, Fajrul Jamil, Nanda Munira,
Arief Budi Laksono, Muhammad Ridho Al Azmy, Sabri Fauzi, Ayu Sartika,
Meutia Handayani, Riski Dahrian Nasution

Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Malikussaleh
Jl. Universitas Muara Batu, Aceh Utara, Aceh, 20155, Indonesia
Email: syahrial.marine@unimal.ac.id

Abstrak

Informasi ilmiah berkaitan dengan spesies invasif di Indonesia masih sangat minim terutama mengenai mikroalga. Kajian ini dilakukan pada bulan September – November 2023 di tiga pelabuhan Provinsi Aceh dengan tujuan untuk menganalisa faktor kualitas air, mengidentifikasi jenis mikroalga dan menduga ada tidaknya mikroalga invasif. Data mikroalga dikumpulkan dengan menyaring sampel air permukaan. Parameter suhu, pH, salinitas, kecepatan arus, kecerahan dan oksigen terlarut diukur secara *in situ*, sedangkan fosfat, nitrat dan ammonia diukur secara *ex situ*; serta karakteristik kualitas perairannya dianalisis dengan PCA. Sementara untuk menduga ada atau tidak adanya mikroalga invasif dilakukan dengan membandingkan hasil penelitian mikroalga para ahli lain di sekitar lokasi penelitian. Nilai fosfat, nitrat dan ammonia sudah melebihi baku mutu (1.07 ± 1.00 mg/L, 1.63 ± 0.95 mg/L, 0.47 ± 0.74 mg/L) yang mengindikasikan adanya peningkatan produksi mikroalga, kemudian komposisi mikroalganya ditemukan sebanyak 407 ind/ml, 21 spesies dan 5 kelas. Selanjutnya karakteristik kualitas perairannya menunjukkan adanya tiga pengelompokan hasil dari analisis PCA dengan hasil identifikasi tidak menemukan spesies mikroalga invasif.

Kata kunci : Aceh, Fitoplankton, Invasi, Pelabuhan, Spesies Non-Indegeous

Abstract

Analysis of Microalgae in Aceh Province Harbor Waters for Early Detection of Invasive Species

Scientific information relating to invasive species in Indonesia is still very minimal, especially regarding microalgae. This study was carried out in September – November 2023 at three ports in Aceh Province with the aim of analyzing water quality factors, identifying types of microalgae, and suspecting the presence or absence of invasive microalgae. Microalgae data was collected by filtering surface water samples. The parameters temperature, pH, salinity, current speed, transparency, and dissolved oxygen were measured *in situ*, while phosphate, nitrate, and ammonia were measured *ex situ*, and the water quality characteristics were analyzed using PCA. Meanwhile, to suspect the presence or absence of invasive microalgae, this is done by comparing the results of microalgae research from other experts around the research location. The values of phosphate, nitrate, and ammonia have exceeded the quality standards (1.07 ± 1.00 mg/L, 1.63 ± 0.95 mg/L, and 0.47 ± 0.74 mg/L), which indicates an increase in microalgae production. The microalgae composition was found to be 407 ind/ml, 21 species, and 5 classes. Furthermore, the water quality characteristics show that there are three groupings resulting from PCA analysis, with the identification results not finding invasive microalgae species.

Keywords : Aceh, Phytoplankton, Invasion, Harbour, Non-Indigenous Species

PENDAHULUAN

Mikroalga merupakan organisme uniseluler mikroskopik (Fauziah dan Laily, 2015; Noerdjito,

2019; Marthia, 2020; Purbani *et al.*, 2021; Rahayu dan Susilo, 2021) yang dapat berfotosintesis (Nirwawan *et al.*, 2014; Miazek *et al.*, 2015;

Biolita dan Harmadi, 2017; Novianti *et al.*, 2017; Gultom, 2018; Koyande, 2019; Novianti, 2019; Rahayu dan Susilo, 2021); memiliki beragam ukuran, bentuk, jenis dan potensi (Noerdjito, 2017; Rahayu dan Susilo, 2021; Kokomaking, 2023) dan ditemukan di lingkungan perairan (Fauziah dan Laily, 2015; Hakiki, 2016; Gultom, 2018; Noerdjito, 2019; Rahayu dan Susilo, 2021). Menurut Chapman (2013) mikroalga berperan sebagai produsen utama di perairan. Hal ini karena mikroalga adalah komponen dasar dari rantai makanan di lingkungan perairan (Rusydi, 2018; Buwono dan Nurhasanah, 2018; Purbani *et al.*, 2019; Wijihastuti *et al.*, 2020; Udayan *et al.*, 2022; Erlangga *et al.*, 2022a), sehingga sering dijadikan sebagai sumber makanan bagi moluska (bivalva), beberapa spesies udang-udangan dan juga beberapa dari larva ikan (Al Adawiyah *et al.*, 2020). Demikian pula fungsinya dalam pembuatan biodiesel karena memiliki kandungan minyak yang cukup tinggi (Panjaitan dan Asrim, 2017).

Terlepas dari hal di atas, spesies invasif adalah spesies introduksi yang menyebar keluar dari habitat aslinya, sehingga keberadaannya sangat mengancam keanekaragaman hayati (biodiversitas) lokal (CBD, 2014). Widjaja *et al.* (2014) menyatakan bahwa spesies invasif memiliki sifat tumbuh dan reproduksi yang sangat cepat, kemampuan hidup dengan jenis makanan yang beragam, serta kemampuan penyebaran maupun adaptasi lingkungan yang sangat tinggi. Menurut Uji *et al.* (2010) perpindahan spesies invasif dari habitat aslinya disebabkan oleh transportasi global, perdagangan bebas serta kegiatan wisata. Selain itu, perpindahan spesies invasif juga dapat terjadi karena ketidaksengajaan (Burgiel *et al.* 2006) misalnya karena sifat yang dimiliki oleh spesies tersebut yang suka menempel atau menumpang pada substrat (misalnya lambung kapal kargo/tanker) ataupun pada tubuh spesies biota yang lain. Selain itu, dapat pula disebabkan oleh masuknya spesies invasif ke dalam air *ballast* hasil pembuangan dari kapal-kapal kargo atau tanker (Setianingsih, 2016).

Tang *et al.* (2006) menyatakan bahwa kawasan pelabuhan merupakan tempat pembuangan air *ballast* terbanyak ditemukan. Para ahli telah menemukan beberapa spesies mikroalga invasif (*non indigenous*/bukan pribumi) di pertukaran air *ballast* kapal-kapal yang berlayar (mikroalga masuk ke dalam pipa-pipa air *ballast*

dan bertahan hidup disana) (Prakaatmaja *et al.* 2020). Hal ini akan berdampak terhadap terganggunya keseimbangan ekosistem perairan dan permasalahan perekonomian kedepannya (Tang *et al.*, 2006). Berdasarkan hal tersebut, maka sangat perlu dilakukan kajian ini karena informasi-informasi ilmiah tersebut masih sangat minim di Indonesia, sedangkan di Provinsi Aceh masih belum ada yang menginformasikannya. Walaupun kajian mengenai spesies mikroalga invasif juga sudah pernah dilakukan oleh beberapa para ahli (Olenina *et al.*, 2010; Silkin *et al.*, 2016; Setianingsih, 2016). Kajian ini bertujuan untuk menganalisa faktor kualitas air, mengidentifikasi jenis-jenis mikroalga serta mendeteksi keberadaan mikroalga yang berpotensi invasif di perairan pelabuhan Provinsi Aceh.

MATERI DAN METODE

Kajian dilaksanakan pada bulan September – November 2023 yang terdiri dari dua tahap. Tahap pertama dilaksanakan pada bulan September – Oktober 2023 dengan kegiatannya yaitu pengumpulan data di lapangan, kemudian tahap kedua dilaksanakan pada bulan Oktober – November 2023 dengan kegiatannya adalah analisis data dan mendeskripsikan data yang telah diperoleh. Untuk lokasi pengambilan sampel, dilakukan pada 3 stasiun yang berbeda yaitu Pelabuhan Krueng Geukueh sebagai Stasiun I (5°14'45" LU dan 97°02'01" BT), Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN) Ide Rayeuk sebagai Stasiun II (4°57'34" LU dan 97°46'42" BT) dan Pelabuhan Kuala Langsa sebagai Stasiun III (4°31'25" LU dan 98°01'14" BT) (Gambar 1). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei dengan teknik penentuan titik samplingnya menggunakan *purposive sampling*, kemudian data yang telah diperoleh (di lapangan), selanjutnya dianalisis di laboratorium. Parameter suhu, pH, salinitas, kecepatan arus, kecerahan dan oksigen terlarut diukur langsung saat di lapangan (*in situ*), sedangkan parameter fosfat, nitrat dan ammonia dianalisis di laboratorium untuk mendapatkan nilai konsentrasinya (*ex situ*). Data mikroalga dikumpulkan dengan menyaring sampel air permukaan (kedalaman 0 – 1 m) sebanyak 50 liter menggunakan *plankton net mesh size* 20 µm, dimana jarak pengambilan sampel air dari bibir pantai ± 100 – 200 m. Selanjutnya, sampel mikroalga dimasukkan ke dalam botol

polyethylene bervolume 100 mL dan diberikan 4 tetes larutan Lugol 1% (Sahu *et al.*, 2012). Setiap stasiun pengamatan diambil sebanyak 3 kali pengulangan, kemudian sampel disimpan ke dalam *ice box* dan dibawa ke laboratorium untuk diidentifikasi.

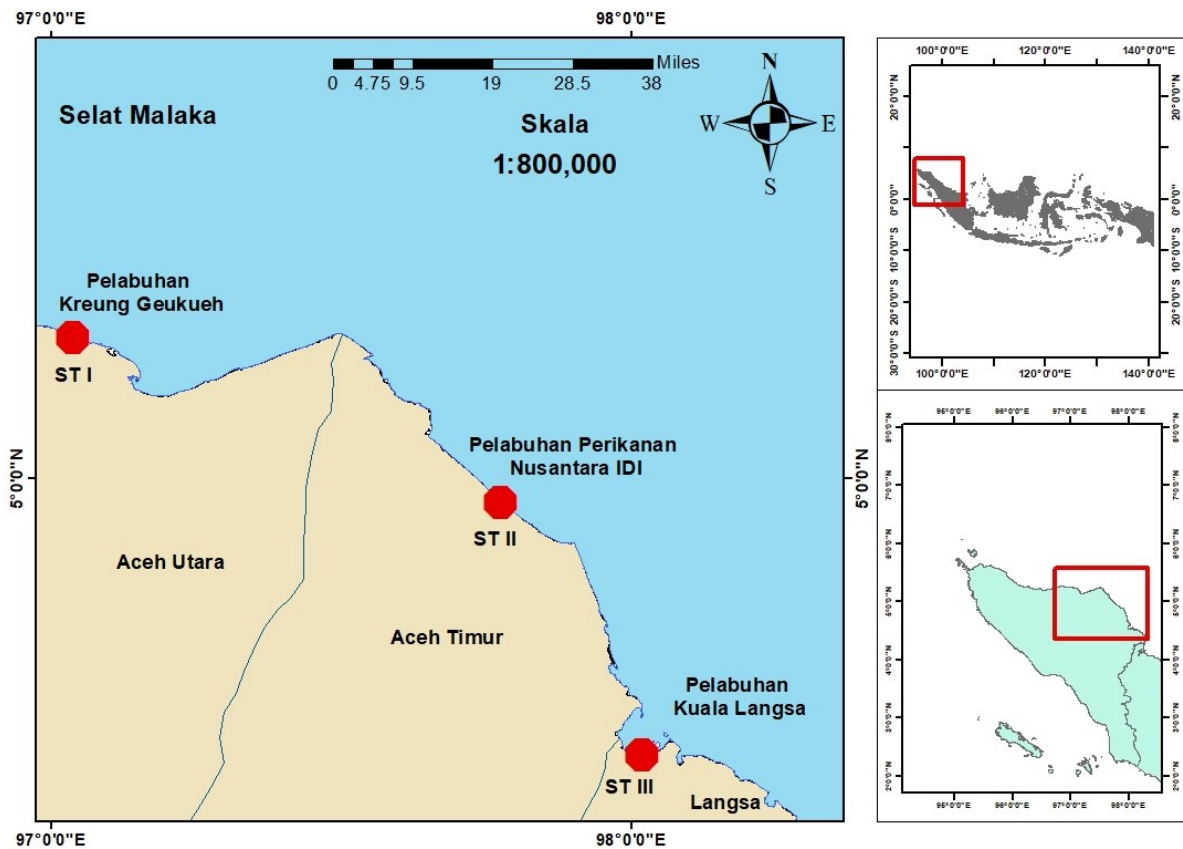
Perhitungan mikroalga di perairan pelabuhan Provinsi Aceh, pertamanya diidentifikasi terlebih dahulu menggunakan mikroskop pada perbesaran 100x, dimana identifikasinya mengacu pada buku Davis (1955), Yamaji (1966) dan Hasle *et al.* (1996). Selanjutnya, untuk mengetahui karakteristik parameter kualitas air mikroalga di perairan pelabuhan Provinsi Aceh dilakukan analisis *Principal Component Analysis* (PCA) (Ezraneti *et al.*, 2021; Lestari *et al.*, 2021; Syahril *et al.*, 2021; Erlangga *et al.*, 2022b; Erniati *et al.*, 2022) dengan parameter suhu, pH, salinitas, kecepatan arus, kecerahan, oksigen terlarut, fosfat, nitrat dan ammonia ditempatkan sebagai variabel statistik yang aktif, sedangkan stasiun penelitiannya ditempatkan sebagai individu statistik. Utamanya,

prinsip PCA adalah parameter kuantitatif inisial berkorelasi, kemudian ditransformasikan ke dalam parameter kuantitatif yang baru sehingga disebut sebagai analisis komponen utama (Matiatos *et al.*, 2014; Kumar *et al.*, 2016; Kamtchueng *et al.*, 2016; Zeinalzadeh dan Rezaei, 2017; Rakotondrabe *et al.*, 2018; Kumar *et al.*, 2018), dimana pengolahan analisis PCA dalam penelitian ini dilakukan dengan program PAST 3. Selanjutnya untuk menduga ada atau tidak adanya mikroalga invasif di sekitar perairan pelabuhan Provinsi Aceh dilakukan dengan membandingkan hasil penelitian-penelitian mikroalga para ahli lain di sekitar lokasi yang sama dengan penelitian ini (Olenina *et al.*, 2010; Setianingsih, 2016).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Kualitas Air

Hasil pengukuran parameter pH perairan memperlihatkan bahwa nilainya tidak terlalu bervariasi antar stasiun pengamatan dan mengindikasikan adanya pengaruh lautan lebih



Gambar 1. Lokasi penelitian

Tabel 1. Karakteristik kualitas air di lokasi penelitian

Parameter	Baku Mutu*	Stasiun I	Stasiun II	Stasiun III	Rata-Rata
PH	7.00 – 8.50	8.22 ± 0.21	7.77 ± 0.41	7.44 ± 0.38	7.81 ± 0.46
SUH (°C)	Alami	32.06 ± 1.67	29.20 ± 0.28	33.94 ± 1.55	31.73 ± 2.36
SAL (‰)	Alami	32.11 ± 1.76	33.67 ± 0.50	27.00 ± 2.06	30.93 ± 3.28
DO (mg/L)	> 5.00	6.77 ± 0.37	5.21 ± 0.09	5.34 ± 0.16	5.77 ± 0.75
CRH (cm)	-	305.06 ± 167.33	91.00 ± 12.18	83.83 ± 2.52	181.71 ± 152.46
KAR (m/s)	-	9.61 ± 1.94	11.92 ± 5.72	10.10 ± 3.84	10.15 ± 3.36
FOS (mg/L)	0.02	2.24 ± 0.45	0.76 ± 0.65	0.22 ± 0.02	1.07 ± 1.00
NIT (mg/L)	0.06	1.55 ± 0.64	2.15 ± 1.48	1.20 ± 0.99	1.63 ± 0.95
AMO (mg/L)	0.30	1.00 ± 1.29	0.32 ± 0.42	0.11 ± 0.01	0.47 ± 0.74

PH = *Potential of hydrogen*; SUH = Suhu; SAL = Salinitas; DO = *Dissolved oxygen*; CRH = Kecerahan; KAR = Kecepatan arus; FOS = Fosfat; NIT = Nitrat; AMO = Ammonia; * = PPRI (2021)

besar dibandingkan daratan (Tabel 1). Hal ini terlihat dari nilai pH yang mendekati basa atau lebih dari 7. Menurut Akbar *et al.* (2022) air laut umumnya memiliki nilai pH di atas 7 yang berarti basa. Pernyataan yang sama juga dinyatakan oleh Karanghan *et al.* (2019) maupun Patty *et al.* (2021). Selanjutnya, untuk parameter DO juga memperlihatkan hal yang sama yaitu memiliki nilai yang tidak terlalu bervariasi antar stasiun pengamatannya dan pengaruh daratan juga tidak terlalu besar dibandingkan dengan lautan. Hal ini karena DO yang tinggi mengindikasikan perairan tersebut tidak bersifat anaerob (anoksik), dimana perairan yang bersifat anaerob merupakan salah satu ciri daerah perairan yang terpengaruh oleh daratan. Sementara untuk parameter suhu, salinitas, kecerahan, kecepatan arus, fosfat, nitrat dan ammonia memiliki nilai yang bervariasi antar stasiun pengamatan. Untuk suhu, berbedanya nilai antar stasiun pengamatan disebabkan karena kondisi cuaca. Suhu perairan yang tertinggi ditemukan pada Stasiun III (33.94°C). Hal ini disebabkan karena saat pengukurannya dilakukan bertepatan dengan hari cerah dan terik matahari yang kuat (sekitar pukul 13.00 WIB), sedangkan suhu perairan yang rendah ditemukan pada Stasiun II (29.20°C) disebabkan karena pengukurannya dilakukan saat cuaca dalam kondisi mendung (terik matahari tidak kuat).

Sementara untuk salinitas, berbedanya konsentrasi antar stasiun pengamatan disebabkan karena adanya masukan air tawar ke lokasi penelitian. Stasiun III merupakan konsentrasi salinitas terendah bila dibandingkan dengan stasiun yang lainnya. Hal ini disebabkan karena

Stasiun III lokasinya berada di muara Sungai Langsa yang diduga mendapat masukan air tawar dari daratan sekitarnya. Hal ini didukung oleh pernyataan BRR (2007) bahwa kondisi wilayah pesisir Kota Langsa mempunyai kisaran salinitas 24.00 – 32.00‰, bersubstrat lumpur dan berpasir serta muara sungainya mendapat pasokan air tawar yang kuat. Hasil penelitian Sagita *et al.* (2018) di pesisir Kuala Langsa juga menemukan konsentrasi salinitasnya berkisar antara 29.50 – 30.30‰.

Secara keseluruhan, parameter kualitas air yang diukur secara *in situ* memperlihatkan bahwa nilainya masih di bawah baku mutu yang telah ditetapkan. Namun, untuk parameter yang dianalisis di laboratorium (diukur secara *ex situ*) seperti fosfat, nitrat dan ammonia memperlihatkan nilainya sudah melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Menurut Hamuna *et al.* (2018) fosfat, nitrat dan ammonia merupakan golongan unsur hara yang menunjang kesuburan perairan. Selanjutnya Hendrayana *et al.* (2022) menyatakan bahwa fosfat, nitrat dan ammonia juga merupakan unsur penting yang dimanfaatkan oleh organisme laut, salah satunya adalah mikroalga. Tingginya kandungan fosfat, nitrat dan ammonia di masing-masing stasiun pengamatan dapat menyebabkan peningkatan produksi mikroalga di perairan. Hal ini didukung oleh pernyataan Hamuna *et al.* (2018) bahwa pengkayaan zat hara (ammonia, nitrat dan fosfat) di lingkungan perairan memiliki dampak positif, namun pada tingkatan tertentu juga dapat menimbulkan dampak negatif seperti munculnya *Harmful Algal Blooms* (HABs).

Tabel 2. Komposisi dan frekuensi ditemukannya mikroalga di perairan pelabuhan Provinsi Aceh

No	Kelas	Spesies	SI	SII	SIII
1	Chrysophyceae	<i>Globigerina</i> sp.	2	5	5
2		<i>Sphaeroidinella</i> sp.	1	1	1
3	Chlorophyceae	<i>Ankistrodesmus</i> sp.	19	10	11
4		<i>Chlorella</i> sp.	17	13	9
5		<i>Tetraedron</i> sp.	0	2	0
6	Bacillariophyceae	<i>Streptotheca</i> sp.	23	18	9
7		<i>Rhizosolenia</i> sp.	15	8	3
8		<i>Melosira</i> sp.	31	23	12
9		<i>Nitzschia</i> sp1.	6	4	0
10		<i>Nitzschia</i> sp2.	1	0	1
11		<i>Isthmia</i> sp.	4	8	7
12		<i>Climacosphenia</i> sp.	1	0	4
13		<i>Hemiaulus</i> sp.	2	4	0
14		<i>Actinoptychus</i> sp.	0	2	1
15		<i>Navicula</i> sp.	0	4	3
16		<i>Guinardia</i> sp.	2	4	3
17		<i>Fragilaria</i> sp.	1	1	0
18		<i>Coscinodiscus</i> sp.	0	2	3
19	Cyanophyceae	<i>Oscillatoria</i> sp.	31	15	15
20		<i>Spirulina</i> sp.	0	10	27
21	Dinophyceae	<i>Peridinium</i> sp.	4	4	7
Jumlah Individu			159	134	114

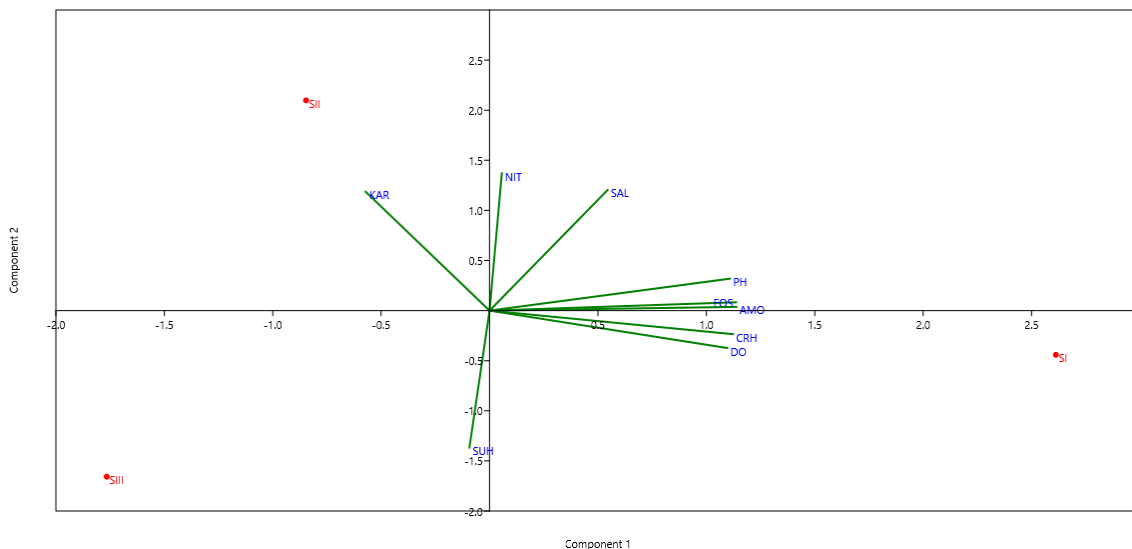
Biodiversitas Mikroalga

Biodiversitas dan komposisi mikroalga di perairan pelabuhan Provinsi Aceh (Pelabuhan Kuala Langsa, Pelabuhan Perikanan Nusantara Ide Rayeuk dan Pelabuhan Krueng Geukeuh) ditemukan sebanyak 407 ind/ml dengan 21 spesies yang terdiri dari 5 kelas yaitu Chrysophyceae, Chlorophyceae, Bacillariophyceae, Cyanophyceae dan Dinophyceae (Tabel 2). Untuk kelas Chrysophyceae ditemukan 2 spesies (*Globigerina* sp. dan *Sphaeroidinella* sp.), Chlorophyceae 3 spesies (*Ankistrodesmus* sp., *Chlorella* sp. dan *Tetraedron* sp.), Bacillariophyceae 13 spesies (*Streptotheca* sp., *Rhizosolenia* sp., *Melosira* sp., *Nitzschia* sp1., *Nitzschia* sp2., *Isthmia* sp., *Climacosphenia* sp., *Hemiaulus* sp., *Actinoptychus* sp., *Navicula* sp., *Guinardia* sp., *Fragilaria* sp. dan *Coscinodiscus* sp.), Cyanophyceae 2 spesies (*Oscillatoria* sp. dan *Spirulina* sp.) serta Dinophyceae hanya 1 spesies (*Peridinium* sp.). Menurut Salmaso dan Tolotti (2020) mikroalga merupakan sekelompok organisme yang memiliki sejumlah karakteristik yang terbatas, mulai dari ukuran selnya yang

mikroskopis, memiliki kemampuan tidak tenggelam di perairan dan dapat berfotosintesis atau kapasitas untuk melengkapi fotosintesa dengan nutrisi heterotrofiknya. Belluz *et al.* (2021) menyatakan bahwa mikroalga terdiri dari beragam spesies yang mencakup cyanobacteria prokariotik dan alga eukariotik. Namun jumlah spesies mikroalga saat ini yang pastinya masih belum diketahui, sedangkan jumlah tumbuhan tingkat tinggi saat ini sudah mulai diketahui dan mungkin sudah mencerminkan keanekaragaman yang sebenarnya (Karlusich *et al.*, 2020).

Karakteristik Kualitas Perairan

Karakteristik kualitas perairan pelabuhan Provinsi Aceh menunjukkan adanya pengelompokan hasil dari analisis PCA (Gambar 2). Pengelompokan tersebut terdiri dari 3 kelompok yaitu kelompok pertama dicirikan oleh pH, fosfat, ammonia, kecerahan dan oksigen terlarut yang tinggi di Stasiun I. Jika pH perairannya selalu tinggi, maka akan menyebabkan fosfat dan ammonianya juga akan selalu tinggi. Namun tingginya nilai pH mengindikasikan bahwa kecerahan maupun oksigen



Gambar 2. Karakteristik kualitas perairan pelabuhan Provinsi Aceh

terlalu rendah. Selanjutnya untuk kelompok kedua yang dicirikan oleh kecepatan arus, nitrat dan salinitas yang tinggi di Stasiun II; dimana kecepatan arus yang tinggi akan menyebabkan nitrat maupun salinitasnya menjadi rendah. Tinggi rendahnya nitrat di perairan pelabuhan Provinsi Aceh yang dipengaruhi oleh kecepatan arus mengindikasikan bahwa semakin rendah kecepatan arus maka akan menyebabkan nitrat yang ada di kolom perairan lebih cepat terendapkan di sedimen (dasar perairan) sehingga nilai nitratnya menjadi rendah. Begitu juga sebaliknya yaitu semakin tinggi kecepatan arus, maka nitrat yang ada di kolom perairan tidak cepat terendapkan di sedimen (dasar perairan) sehingga nilai nitrat di kolom perairannya tetap menjadi tinggi.

Hasil penelitian Patty (2014) di perairan Pulau Gangga dan Siladen Provinsi Sulawesi Utara mendapatkan hal yang sama dengan penelitian ini yaitu tinggi rendahnya nitrat di kolom perairan sangat dipengaruhi oleh kecepatan arus. Selanjutnya untuk tinggi rendahnya salinitas di perairan pelabuhan Provinsi Aceh yang dipengaruhi oleh kecepatan arus mengindikasikan bahwa semakin rendah kecepatan arus maka akan menyebabkan salinitasnya menjadi rendah karena kecepatan arus dipengaruhi oleh kecepatan angin dan kecepatan angin berpengaruh terhadap tinggi rendahnya penguapan, kemudian penguapan akan sangat berpengaruh terhadap tinggi rendahnya salinitas air laut. Pernyataan Kunarso *et al.* (2011) mendukung hasil penelitian ini dimana pola

pergerakan massa air (salah satunya kecepatan arus) akan mempengaruhi fluktuasi salinitas, sehingga kecepatan arus mempunyai pengaruh penting dalam menentukan distribusi salinitas yang ada di kolom perairan pada suatu wilayah. Selain itu, Gambar 2 juga memperlihatkan bahwa untuk kelompok ketiga hanya dicirikan oleh suhu yang tinggi di Stasiun III. Menurut Parker *et al.* (2013), Wittmann dan Portner (2013) serta Llovel dan Terray (2016) keanekaragaman maupun distribusi (indeks keseragaman) komunitas organisme di zona intertidal sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, salah satunya adalah suhu. Hal ini karena suhu merupakan faktor lingkungan yang dapat menentukan kehidupan organisme air (salah satunya mikroalga) dimana pengaruh suhu berhubungan langsung dengan aktivitas enzim (Mainassy, 2017).

Pendugaan Spesies Mikroalga Invasif

Hasil identifikasi mikroalga memperlihatkan bahwa di perairan pelabuhan Provinsi Aceh, secara keseluruhan penelitian ini menemukan sebanyak 20 genera dan 21 spesies dengan Stasiun I ditemukan 15 genera dan 16 spesies, Stasiun II 19 genera dan 19 spesies serta Stasiun III 17 genera dan 17 spesies (Tabel 2). Namun bila dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Muhammad *et al.* (2023) yang berdekatan dengan Stasiun I, Mauliddin (2015) yang berdekatan dengan Stasiun II dan Iqbal (2015) yang berdekatan dengan Stasiun III lebih rendah keanekaragaman mikroalganya

Tabel 3. Spesies mikroalga di perairan pelabuhan Provinsi Aceh hasil penelitian ini dan para ahli lainnya

Spesies	SI		SII		SIII	
	MUH	TEL	MAU	TEL	IQB	TEL
<i>Actinoptychus</i> sp.	-	-	-	√	-	√
<i>Alexandrium</i> sp.	-	-	-	-	√	-
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	-	√	-	√	-	√
<i>Azpeitia neocrenulata</i>	√	-	-	-	-	-
<i>Ceratium</i> sp.	-	-	√	-	√	-
<i>Chlorella</i> sp.&	-	√	-	√	-	√
<i>Climacosphenia</i> sp.	-	√	-	-	-	√
<i>Coscinodiscus</i> sp.	-	-	-	√	-	√
<i>Dinophysis</i> sp.	-	-	-	-	√	-
<i>Euglena</i> sp.	-	-	√	-	-	-
<i>Fragilaria</i> sp.	-	√	-	√	-	-
<i>Globigerina</i> sp.	-	√	-	√	-	√
<i>Gloeotricia</i> sp.	-	-	√	-	-	-
<i>Gonyaulax</i> sp.	-	-	-	-	√	-
<i>Guinardia</i> sp.	-	√	-	√	-	√
<i>Gymnodinium</i> sp.	-	-	√	-	-	-
<i>Gyrodinium</i> sp.	-	-	-	-	√	-
<i>Haramonas</i> sp.	-	-	√	-	-	-
<i>Hemiaulus</i> sp.	-	√	-	√	-	-
<i>Isthmia</i> sp.	-	√	-	√	-	√
<i>Licmophora</i> sp.	-	-	-	-	√	-
<i>Melosira</i> sp.	√	√	-	√	-	√
<i>Merismopedia</i> sp.	-	-	√	-	-	-
<i>Navicula</i> sp.	-	-	-	√	√	√
<i>Nitzschia</i> sp2.	-	√	√	-	-	√
<i>Nitzschia</i> sp1.	-	√	√	√	-	-
<i>Oscillatoria</i> sp.	-	√	-	√	-	√
<i>Peridinium</i> sp.	-	√	-	√	-	√
<i>Pinularia</i> sp.	-	-	√	-	-	-
<i>Planktoniella</i> sp.	√	-	-	-	-	-
<i>Pleurosigma</i> sp.	-	-	-	-	√	-
<i>Prorocentrum</i> sp.	-	-	-	-	√	-
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	-	-	-	-	√	-
<i>Rhizosolenia</i> sp.	√	√	√	√	√	√
<i>Skeletonema</i> sp.	-	-	-	-	√	-
<i>Sphaeroidinella</i> sp.	-	√	-	√	-	√
<i>Spirulina</i> sp.	-	-	-	√	-	√
<i>Stepanophyxis</i> sp.	-	-	-	-	√	-
<i>Striatella</i> sp.	-	-	-	-	√	-
<i>Streptothecca</i> sp.	-	√	-	√	-	√
<i>Tetraedron</i> sp.	-	-	-	√	-	-
<i>Thalassionema</i> sp.	-	-	-	-	√	-
<i>Thalassiosira</i> sp.	-	-	-	-	√	-
<i>Toxarium</i> sp.	-	-	√	-	-	-
<i>Ulothrix zonata</i>	√	-	-	-	-	-

MUH = Muhammad *et al.* (2023); MAU = Mauliddin (2015); IQB = Iqbal (2015); TEL = Penelitian ini; & = Nama sinonimnya *Choricystis parasitica*; √ = Ditemukan; - = Tidak ditemukan

Tabel 4. Penelitian ditemukannya spesies mikroalga di perairan pelabuhan Provinsi Aceh dan ditemukannya juga di perairan laut Indonesia lainnya

No	Spesies	Perairan Laut Indonesia Lainnya	Penelitian Ini
1	<i>Actinoptychus</i> sp.	Azanah <i>et al.</i> (2017)	Ditemukan
2	<i>Ankistrodesmus</i> sp.*	Masrikat (2013)	Ditemukan
3	<i>Chlorella</i> sp. &	Pikoli <i>et al.</i> (2019)	Ditemukan
4	<i>Climacosphenia</i> sp.	Japa dan Khairuddin (2014); Syahbaniati dan Sunardi (2019); Maherezky <i>et al.</i> (2023)	Ditemukan
5	<i>Coscinodiscus</i> sp.	Pirzan dan Pong-Masak (2008)	Ditemukan
6	<i>Fragilaria</i> sp.	Jasmadi (2018); Nuansa (2021); Erlangga <i>et al.</i> (2022a)	Ditemukan
7	<i>Globigerina</i> sp.	PKP (2007); Irawan (2011)	Ditemukan
8	<i>Guinardia</i> sp.	Ariana <i>et al.</i> (2013); Putra <i>et al.</i> (2015); Rohmi (2019)	Ditemukan
9	<i>Hemiaulus</i> sp.	Sulistiowati <i>et al.</i> (2016); Erlangga <i>et al.</i> (2022a); Nurbaya (2023)	Ditemukan
10	<i>Isthmia</i> sp.	Putra <i>et al.</i> (2015); Hamzah <i>et al.</i> (2015); Setiawan <i>et al.</i> (2016)	Ditemukan
11	<i>Melosira</i> sp.\$	Apriyatmoko (2015)	Ditemukan
12	<i>Navicula</i> sp.	Maryatie (2002); Juadi <i>et al.</i> (2018); Astuti (2018)	Ditemukan
13	<i>Nitzschia</i> sp2.	Fadli (2008); Siregar <i>et al.</i> (2012); Ayuretnani <i>et al.</i> (2019)	Ditemukan
14	<i>Nitzschia</i> sp1.	Siregar <i>et al.</i> (2008); Ariana <i>et al.</i> (2013); Nurimansyah <i>et al.</i> (2015)	Ditemukan
15	<i>Oscillatoria</i> sp.	A'ayun <i>et al.</i> (2015); Halwany dan Andriani (2015); Kurnianda <i>et al.</i> (2021)	Ditemukan
16	<i>Peridinium</i> sp.#	Hasani <i>et al.</i> (2012); Weliyadi (2013); Thovyan (2018)	Ditemukan
17	<i>Rhizosolenia</i> sp.	Widianingsi <i>et al.</i> (2007); Marman <i>et al.</i> (2016); Triawan dan Arisandi (2020)	Ditemukan
18	<i>Sphaeroidinella</i> sp.	Adisaputra dan Rostyati (2003); Dewi dan Hanafi (2013); Isnaniawardhani <i>et al.</i> (2021)	Ditemukan
19	<i>Spirulina</i> sp.	Sujarta <i>et al.</i> (2011); Fajrina <i>et al.</i> (2013); Suryadi dan Kelana (2017)	Ditemukan
20	<i>Streptothecha</i> sp.	Siregar (2007)	Ditemukan
21	<i>Tetraedron</i> sp.	Ayun <i>et al.</i> (2021); Ayatillah <i>et al.</i> (2022); Putri <i>et al.</i> (2023)	Ditemukan

* = Mikroalga air tawar menurut Sharifah *et al.* (2016); ** = Mikroalga air tawar menurut Pikoli *et al.* (2019); # = Mikroalga berbahaya (*harmful*) menurut Hasani *et al.* (2012) dan Weliyadi (2013); \$ = Mikroalga berpotensi sebagai bahan baku biodiesel menurut Apriyatmoko (2015); & = Nama sinonimnya *Choricystis parasitica*

daripada hasil penelitian ini. Muhammad *et al.* (2023) menemukan 5 genera dan 5 spesies, Mauliddin (2015) menemukan 10 genera dan 10 spesies serta Iqbal (2015) menemukan 16 genera dan 16 spesies (Tabel 3). Banyak atau tingginya

spesies mikroalga yang ditemukan dalam penelitian ini bila dibandingkan dengan yang ditemukan oleh Mauliddin (2015), Iqbal (2015) dan Muhammad *et al.* (2023) tidak mengindikasikan bahwa perairan pelabuhan

Provinsi Aceh sudah terdapat spesies mikroalga yang *non-indegeous* (bukan endemik) dan berpotensi sebagai spesies invasif. Hal ini karena mikroalga yang teridentifikasi tersebut merupakan spesies yang umum ditemukan di perairan Indonesia (Tabel 4).

Selain itu, Tabel 3 juga memperlihatkan bahwa 5 genera dan 5 spesies yang ditemukan oleh Muhammad *et al.* (2023) di sekitar Stasiun I terdiri dari *Melosira* sp., *Rhizosolenia* sp., *Azpeitia neocrenulata*, *Ulothrix zonata* dan *Planktoniella* sp.; kemudian 10 genera dan 10 spesies yang ditemukan oleh Mauliddin (2015) di sekitar Stasiun II diantaranya adalah *Rhizosolenia* sp., *Nitzschia* sp., *Pinularia* sp., *Toxarium* sp., *Ceratium* sp., *Euglena* sp., *Haramonas* sp., *Gymnodinium* sp., *Gloeotricia* sp. dan *Merismopedia* sp.; sedangkan 16 genera dan 16 spesies yang ditemukan oleh Iqbal (2015) di sekitar Stasiun III adalah *Licmophora* sp., *Navicula* sp., *Pleurosigma* sp., *Pseudo-nitzschia* sp., *Rhizosolenia* sp., *Skeletonema* sp., *Stephanopyxis* sp., *Striatella* sp., *Thalassionema* sp., *Thalassiosira* sp., *Alexandrium* sp., *Ceratium* sp., *Dinophysis* sp., *Gonyaulax* sp., *Gyrodinium* sp. dan *Prorocentrum* sp. Untuk semua stasiun pengamatan, genera *Rhizosolenia* ditemukan sama oleh Mauliddin (2015), Iqbal (2015), Muhammad *et al.* (2023) dan penelitian ini. Genera *Rhizosolenia* menurut Round *et al.* (1990) serta Scott dan Thomas (2005) merupakan anggota diatom yang mempunyai sel silindris panjang dan banyak pita korsetnya; bentuk tubuh menyerupai rantai dan hidupnya suka menyendiri (soliter) (Gtirate-Liztirraga *et al.*, 2003) serta merupakan salah satu genera fitoplankton laut yang paling penting dan terkadang mendominasi biomassa fitoplankton di wilayah lautan yang sangat produktif (Sundstrom, 1986). Selanjutnya untuk genera *Melosira* ditemukan sama juga oleh Muhammad *et al.* (2023) dan penelitian ini di Stasiun I, kemudian genera *Nitzschia* ditemukan sama oleh Mauliddin (2015) dan penelitian ini di Stasiun II, serta genera *Navicula* ditemukan sama oleh Iqbal (2015) dan penelitian ini di Stasiun III (Tabel 3).

KESIMPULAN

Parameter kualitas air yang diukur terdapat nilainya sudah melebihi baku mutu dari yang sudah ditetapkan yaitu fosfat, nitrat dan ammonia; kemudian mikroalga yang ditemukan terdiri dari 407 ind/ml, 21 spesies dan 5 kelas dengan

karakteristik kualitas perairannya terbagi atas 3 kelompok (kelompok pertama dicirikan oleh pH, fosfat, ammonia, kecerahan dan oksigen terlarut yang tinggi di Stasiun I; kelompok kedua dicirikan oleh kecepatan arus, nitrat dan salinitas yang tinggi di Stasiun II; serta kelompok ketiga hanya dicirikan oleh suhu yang tinggi di Stasiun III). Selanjutnya untuk pendugaan spesies mikroalga invasif, hasil identifikasi tidak menemukan mikroalga yang *non-indegeous* (bukan endemik) dan berpotensi sebagai spesies invasif karena mikroalga yang ditemukan tersebut merupakan spesies umum ditemukan di perairan Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kajian ini merupakan bagian dari kegiatan penelitian yang dibiayai melalui pendanaan proyek *Advanced Knowledge and Skills for Sustainable Growth Project in Indonesia – Asian Development Bank* (AKSI-ADB) dalam Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Universitas Malikussaleh tahun anggaran 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- A'ayun, N.Q., Perdana, T.A.P., Pramono, P.A., & Laily, A.N. 2015. Identifikasi fitoplankton di perairan yang tercemar lumpur Lapindo, Porong Sidoarjo. *Bioedukasi*, 8(1): 48- 51.
- Adisaputra, M.K., & Rostyati, D. 2003. Foraminifera sedimen dasar laut Delta Mahakam, Kalimantan Timur. *Geologi Kelautan*, 1(3): 1-10.
- Akbar, M., Musbah, M., Muliadin, Salanggon, A.M., Wahyudi, D., Renol, & Hermawan, R. 2022. Monitoring terumbu karang menggunakan metode *line intercept transect* di pesisir Kelurahan Mamboro, Taipa, Kayu Malue dan Mamboro pasca 2 tahun tsunami Kota Palu Provinsi Sulawesi Tengah. *Berkala Perikanan Terubuk*, 50(2): 1502-1508.
- Al Adawiyah, L., Ulkhaq, M.F., & Kenconoajati, H. 2020. Respon pertumbuhan kultur mikroalga *Porphyridium* sp. dalam wadah kaca dan plastik pada skala laboratorium. *Aquaculture and Fish Health*, 9(2): 155-163.
- Apriyatmoko, Y. 2015. Isolasi dan karakterisasi mikroalga yang berpotensi sebagai bahan baku biodiesel di perairan estuaria Sungai Porong [skripsi]. Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya, Indonesia.

- Ariana, D., Samiaji, J., & Nasution, S. 2013. Komposisi jenis dan kelimpahan fitoplankton perairan laut Riau [skripsi]. Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Riau. Pekanbaru, Indonesia.
- Astuti, N.F. 2018. Identifikasi alga epilitik di Umbul Kemanten Desa Sidowayah Kecamatan Polanharjo Kabupaten Klaten Jawa Tengah [skripsi]. Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta, Indonesia.
- Ayatillah, N., Karlina, I., & Idris, F. 2022. Hubungan struktur komunitas fitoplakton dan keberadaan biota bernilai ekonomis penting di perairan Bintan Selatan. *Enggano*, 7(1): 1-15.
- Ayun, A.Q., Nurwidodo, & Husamah. 2021. Phytoplankton in Boom Beach, Banyuwangi Regency East Java: Their existence as a bioindicator of water saprobity. *Indonesian Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 5(3): 84-94.
- Ayuretnani, D., Yuslia, A., Dwi, K., Silfie, A., Rahmawati, D., Sudarsono, & Handziko, R.C. 2019. *Biodiversitas Pantai Bama Taman Nasional Baluran*. Jurusan Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta, Indonesia.
- Azanah, S., Koenawan, C.J., & Idris, F. 2017. Hubungan struktur komunitas fitoplankton dengan parameter fisika dan kimia di perairan Teluk Riau Kota Tanjungpinang. Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji. Tanjungpinang, Indonesia.
- Belluz, J.D.B., Pena, M.A., Jackson, J.M., & Nemcek, N. 2021. Phytoplankton composition and environmental drivers in the Northern Strait of Georgia (Salish Sea), British Columbia, Canada. *Estuaries and Coasts*, 44: 1419–1439. doi: 10.1007/s12237-020-00858-2.
- Biolita, N.O., & Harmadi. 2017. Perancangan fotobioreaktor mikroalga *Chlorella vulgaris* untuk mengoptimalkan konsentrasi oksigen (O₂). *Fisika Unand*, 6(3): 296-305.
- [BRR] Badan Rehabilitasi dan Rekonstruksi. 2007. Analisa Laporan Akhir Penyusunan Rencana Umum Tata Ruang Wilayah Pesisir Provinsi NAD Pasca Tsunami. PT. Sumaplan Adicipta Persada. Banda Aceh.
- Burgiel, S., Foote, G., Orellana, M., & Perrault, A. 2006. Invasive alien species and trade: Integrating prevention measures and international trade rules. Diakses pada <http://www.cleantrade.net>.
- Buwono, N.R., & Nurhasanah, R.Q. 2018. Studi pertumbuhan populasi *Spirulina* sp. pada skala kultur yang berbeda. *Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 10(1): 26-33.
- [CBD] Convention on Biological Diversity. 2014. Pathways of introduction of invasive species, their prioritization and management. 5 May 2014. Diakses pada <https://www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-18/official/sbstta-18-09-add1-en.pdf>.
- Chapman, R.L. 2013. Algae: The world's most important 'plants' – An introduction. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(1): 5-12. doi: 10.1007/S.11027010-9255-9.
- Davis, C. 1955. *The Marine and Freshwater Plankton*. Michigan State University Press: Chicago.
- Dewi, K.T., & Hanafi, M. 2013. Karakteristik komunitas foraminifera laut dalam di Teluk Tomini, Sulawesi. *Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5(1): 17-25.
- Erlangga, Andika, Y., Imanullah, Imamshadiqin, Syahrin, A., Siregar, D.F., & Ramadansyah, S. 2022a. Identifikasi mikroalga laut potensial sebagai bahan baku biodiesel di Kecamatan Banda Sakti Kota Lhokseumawe. *Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 14(1): 147-160.
- Erlangga, Imanullah, Syahrin, Ernati, Imamshadiqin, Ritonga, G.H., & Siregar, D.F. 2022b. Kondisi eksisting tiram (Bivalvia: Ostreidae) di perairan estuari Desa Banda Masen Kecamatan Banda Sakti Kota Lhokseumawe. *Buletin Oseanografi Marina*. 11(2): 156-166. doi: 10.14710/buloma.v11i2.39514.
- Erniati, Syahrin, Imanullah, Erlangga, 'Akla, C.M.N., Shobara, W., Nasuha, J., Ritonga, G.H., Daulay, A.M., Romansah, H., Amni, I., & Berutu, T.L. 2022. Rumput laut yang tumbuh alami di pantai barat Pulau Simeulue, Aceh Indonesia: Faktor lingkungan dan variasi geografik. *Kelautan Tropis*, 25(1): 31-38. doi: 10.14710/jkt.v25i1.12645.
- Ezraneti, R., Syahrin, & Ernati. 2021. Penilaian sumber pencemar non logam di Waduk Asin Pusong Kota Lhokseumawe berdasarkan

- analisis multivariat. *Kelautan Tropis*, 24(1): 34-44. doi: 10.14710/jkt.v24i1.9617.
- Fadli, S. 2008. Hubungan nitrat dan fosfat terhadap kelimpahan fitoplankton di Danau Paki Kecamatan Kampar Kiri Hilir Kabupaten Kampar Riau [laporan penelitian student grant]. Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Riau. Pekanbaru, Indonesia.
- Fajrina, H., Endrawati, H., & Zainuri, M. 2013. Struktur komunitas fitoplankton di perairan Morosari Kecamatan Sayung Kabupaten Demak. *Marine Research*, 2(1): 71-79.
- Fauziah, S.M., & Laily, A.N. 2015. Identifikasi mikroalga dari divisi Chlorophyta di Waduk Sumber Air Jaya Dusun Krebet Kecamatan Bululawang Kabupaten Malang. *Bioedukasi*, 8(1): 20-22.
- Gtirate-Liztirraga, I., Siqueiros-Beltrones, D.A., & Maldonado-Lopez, V. 2003. First Record of a *Rhizosolenia debyana* Bloom in the Gulf of California, Mexico. *Pacific Science*, 57(2): 141-145.
- Gultom, S.O. 2018. Mikroalga: Sumber energi terbarukan masa depan. *Kelautan*, 11(1): 95-103.
- Hakiki, R. 2016. Mikroalga sebagai bioindikator kualitas air permukaan. *Environmental Engineering and Waste Management*, 1(1): 46-54.
- Halwany, W., & Andriani, S. 2015. Soil and water microorganism diversity of mangrove forest of Teluk Kelumpang, Selat Laut and Selat Sebuku natural reserve. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 2(2): 131-140.
- Hamuna, B., Tanjung, R.H.R., Suwito, & Maury, H.K. 2018. Konsentrasi amoniak, nitrat dan fosfat di perairan Distrik Depapre, Kabupaten Jayapura. *Enviroscientiae*, 14(1): 8-15.
- Hamzah, F, Tito, C.K., & Pancawati, Y. 2015. Pengaruh faktor lingkungan terhadap stuktur komunitas plankton pada ekosistem mangrove Muara Angke, Jakarta Utara. Dalam: Bunga Rampai Oseanografi Operasional di Indonesia – Satu Dekade Balai Penelitian dan Observasi Laut 2005 – 2015. Balai Penelitian dan Observasi Laut, Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Jakarta, Indonesia.
- Hasani, Q., Adiwilaga, E.M., & Pratiwi, N.T.M. 2012. The relationship between the Harmful Algal Blooms (HABs) phenomenon with nutrients at shrimp farms and fish cage culture sites in pesawaran District Lampung Bay. *Makara Journal of Science*, 16(3): 183-191.
- Hasle, G.R., Syvertsen, E.E., Steidinger, K.A., & Tangen, K. 1996. *Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates*. Academic Press, Inc: San Diego.
- Hendrayana, Raharjo, P., & Samudra, S.R. 2022. Komposisi nitrat, nitrit, amonium dan fosfat di perairan Kabupaten Tegal. *Marine Research*, 11(2): 277-283.
- Iqbal, M. 2015. Struktur komunitas fitoplankton yang berasosiasi dengan ekosistem mangrove di perairan Kuala Langsa Kota Langsa [skripsi]. Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Ilmu Perikanan, Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh, Indonesia.
- Irawan, E.A. 2011. Struktur komunitas plankton di perairan Pantai Amal Kota Tarakan [skripsi]. Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Borneo. Tarakan, Indonesia.
- Isnaniawardhani, V., Abdullah, C.I., & Pratiwi, S.D. 2021. Korelasi biostratigrafi foraminifera plankton dan nannoplankton tersier Indonesia bagian timur (studi kasus: Pulau Sumba). *Bulletin of Scientific Contribution: Geology*, 19(1): 9-19.
- Japa, L., & Khairuddin. 2014. Komunitas fitoplankton perairan pantai utara, timur, dan selatan Pulau Lombok. *Biologi Tropis*, 14(2): 100-107.
- Jasmadi. 2018. Pertumbuhan dan aspek ekologi teripang pasir *Holothuria scabra* pada karamba jaring tancap di perairan Lairngangas, Maluku Tenggara. *Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(2): 317-331.
- Juadi, Dewiyanti, I., & Nurfadillah. 2018. Komposisi jenis dan kelimpahan fitoplankton di perairan Ujong Pie Kecamatan Muara Tiga Kabupaten Pidie. *Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*, 3(1): 112-120.
- Kamtchueng, B.T., Fantong, W.Y., Wirmvem, M.J., Tiodjio, R.E., Takounjou, A.F., Ngoupayou, J.R.N., Kusakabe, M., Zhang, J., Ohba, T., Tanyileke, G., Hell, J.V., & Ueda, A. 2016. Hydrogeochemistry and quality of surface water and groundwater in the vicinity

- of Lake Monoun, West Cameroon: Approach from multivariate statistical analysis and stable isotopic characterization. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(524): 1-24. doi: 10.1007/s10661-016-5514-x.
- Karangan, J., Sugeng, B., & Sulardi. 2019. Uji keasaman air dengan alat sensor pH di STT Migas Balikpapan. *Kacapuri*, 2(1): 65-72.
- Karlusich, J.J.P., Ibarbalz, F.M., & Bowler, C. 2020. Phytoplankton in the Tara Ocean. *Annual Review of Marine Science*, 12: 233-265. doi: 10.1146/annurev-marine-010419-010706.
- Kokomaking, Y.N. 2023. *Buku Saku Keanekaragaman Makroalga*. Widina Bhakti Persada Bandung: Bandung, Indonesia.
- Koyande, A.K., Chew, K.W., Rambabu, K., Tao, Y., Chu, D., & Show, P. 2019. Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. *Food Science and Human Wellness*, 8: 16-24.
- Kumar, V., Sharma, A., Chawla, A., Bhardwaj, R., & Thukral, A.K. 2016. Water quality assessment of river Beas, India, using multivariate and remote sensing techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(137): 1-10. doi: 10.1007/s10661-016-5141-6.
- Kumar, V., Sharma, A., Kumar, R., Bhardwaj, R., Thukral, A.K., & Rodrigo-Comino, J. 2018. Assessment of heavy-metal pollution in three different Indian water bodies by combination of multivariate analysis and water pollution indices. *Human and Ecological Risk Assessment*, 26(1): 1-26 .doi: 10.1080/10807039.2018.1497946.
- Kunarso, Hadi, S., Ningsih, N.S., & Baskoro, M.S. 2011. Variabilitas suhu dan klorofil-a di daerah upwelling pada variasi kejadian ENSO dan IOD di perairan selatan Jawa sampai timor. *Ilmu Kelautan*, 16(3): 171-180.
- Kurnianda, V., Khairunnisa, Karina, S., Agustina, S., Nurfadillah, N., & Musman, M. 2021. Glutarimida dari sianobakteri laut Indonesia *Oscillatoria* sp. *Bioteknologi dan Biosains Indonesia*, 8(2): 286-293.
- Lestari, F., Syahrial, Anggraini, R., Andika, Y., 'Akla, C.M.N., & Samad, A.P.A. 2021. Profil kawasan reboisasi mangrove Kepulauan Seribu berdasarkan karakteristik lingkungan dan fauna makrobentik terkait. *Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 5(3): 303-318. doi: 10.46252/jsai-fpik-unipa.2021.Vol.5.No.3.166.
- Llovel, W., & Terray, L. 2016. Observed southern upper-ocean warming over 2005 – 2014 and associated mechanisms. *Environmental Research Letters*, 11(12): 124023. doi: 10.1088/1748-9326/11/12/124023.
- Maherezky, W., Eryati, R., & Abdunur. 2023. Karakteristik plankton pada ekosistem terumbu karang alami dan terumbu buatan di Desa Tihik-Tihik Kota Bontang. *Ilmu Perikanan Tropis Nusantara*, 2(1): 17-23.
- Mainassy, M.C. 2017. Pengaruh parameter fisika dan kimia terhadap kehadiran ikan lompas (*Thryssa baelama* Forsskal) di perairan Pantai Apui Kabupaten Maluku Tengah. *Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 19(2): 61-66.
- Marman, T.M., Purnawan, S., & Dewiyanti, I. 2016. Jenis dan kelimpahan fitoplankton di perairan laguna Gampong Pulot Kecamatan Leupung Aceh Besar. *Akuatika Indonesia*, 1(2): 158-167.
- Marthia, N. 2020. Pengaruh jenis media kultur terhadap konsentrasi biomassa *Nannochloropsis* sp. *Pasundan Food Technology*, 7(3): 97-101.
- Maryatie, A.D. 2002. Studi keberadaan fitoplankton air payau pada areal tambak tradisional dan modern di Panarukan Situbondo [skripsi]. Program Studi Pendidikan Biologi, Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember. Jember, Indonesia.
- Masrikat, M.K. 2013. Struktur komunitas perfiton pada sedimen pantai berlumpur, Pantai Rejoso, Desa Patuguran, Kecamatan Rejoso, Kabupaten Pasuruan [skripsi]. Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan IPA, Universitas Negeri Malang. Malang, Indonesia.
- Matiatos, I., Alexopoulos, A., & Godelitsas, A. 2014. Multivariate statistical analysis of the hydrogeochemical and isotopic composition of the groundwater resources in northeastern Peloponnesus (Greece). *Science of The Total Environment*, 476-477: 577-590.
- Mauliddin. 2015. Struktur komunitas plankton di perairan Pelabuhan Perikanan Kuala Idi Rayeuk, Kabupaten Aceh Timur [skripsi]. Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Ilmu Perikanan, Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh, Indonesia.

- Miazek, K., Iwanek, W., Remacle, C., Richel, A., & Goffin, D. 2015. Effect of metals, metalloids and metallic nanoparticles on microalgae growth and industrial product biosynthesis: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 16: 23929-23969.
- Muhammad, M., Khairunnisa, K., & Musafira, F. 2023. Analisis kesuburan perairan di Krueng Geukuh, Aceh Utara berdasarkan sebaran nitrat dan fosfat terhadap kelimpahan fitoplankton. *Kelautan dan Perikanan Indonesia*, 3(2): 66-78.
- Nirwawan, R., Kussuryani, Y., & Hanupurti, D.A. 2014. Reduksi gas CO₂ oleh mikroalga *Scenedesmus* sp. pada fotobioreaktor tertutup dengan variasi konsentrasi gas CO₂. *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, 48(1): 55-62.
- Noerdjito, D.R. 2017. Perkembangan, produksi, dan peran kultur mikroalga laut dalam industri. *Oseana*, 42(1): 18-27.
- Noerdjito, D.R. 2019. Interaksi mikroalga-bakteri dan peranannya dalam produksi senyawa dalam kultur mikroalga. *Oseana*, 44(2): 25-34.
- Novianti, T., Zainuri, M., & Widowati, I. 2017. Studi tentang pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris* yang dikultivasi berdasarkan sumber cahaya yang berbeda. *Mangifera Edu*, 1(2): 1-8.
- Novianti, T. 2019. Kandungan betakaroten kultur mikroalga (*Chlorella vulgaris*) dengan perbedaan sumber cahaya dan Kepadatan Awal Inokulum (KAI). *Mangifera Edu*, 4(1): 46-61.
- Nuansa, L.B. 2021. Analisis hubungan kualitas perairan dan kerapatan lamun *Enhalus acroides* terhadap struktur komunitas perfiton di perairan Tunggul, Lamongan [skripsi]. Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel. Surabaya, Indonesia.
- Nurbaya, T.S. 2023. Struktur komunitas diatom di perairan Pantai Cemara Kabupaten Lombok Barat sebagai dasar penyusunan modul sistematika Cryptogamae. *Panthera*, 3(2): 98-125.
- Nurimansyah, E., Soeprbowati, T.R., & Murningsih. 2015. Distribusi vertikal diatom epipelik di muara Sungai Banjir Kanal Timur Semarang. *Biologi*, 4(4): 1-7.
- Olenina, I., Wasmund, N., Hajdu, S., Jurgensone, I., Gromisz, S., Kownacka, J., Toming, K., Vaiciute, D., & Olenin, S. 2010. Assessing impacts of invasive phytoplankton: The Baltic Sea case. *Marine Pollution Bulletin*, 60: 1691-1700.
- Panjaitan, R., & Asrim, W.O.M. 2017. Pembuatan biodiesel dari mikroalga *Chlorella* sp. dengan metode *Microwave – Assisted Transesterification* secara *in situ* [skripsi]. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Surabaya, Indonesia.
- Parker, L.M., Ross, P.M., O'Connor, W.A., Portner, H.O., Scanes, E., & Wright, J.M. 2013. Predicting the response of molluscs to the impact of ocean acidification. *Biology*, 2: 651-692.
- Patty, S.I. 2014. Karakteristik fosfat, nitrat dan oksigen terlarut di perairan Pulau Gangga dan Pulau Siladen, Sulawesi Utara. *Ilmiah Platax*, 2(2): 74-84.
- Patty, S., Yalindua, F.Y., & Putri, S. 2021. Analisis kualitas perairan Bolaang Mongondow, Sulawesi Utara berdasarkan parameter fisika-kimia air laut. *Kelautan Tropis*, 24(1): 113-122.
- Pikoli, M.R., Sari, A.F., Solihat, N.A., & Permana, A.H. 2019. Characteristics of tropical freshwater microalgae *Micractinium conductrix*, *Monoraphidium* sp. and *Choricystis parasitica*, and their potency as biodiesel feedstock. *Heliyon*, 5(12): e02922. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02922.
- Pirzan, A.M., & Pong-Masak, P.R. 2008. Hubungan keragaman fitoplankton dengan kualitas air di Pulau Bauluang, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan. *Biodiversitas*, 9(3): 217-221.
- [PKP] Pemerintah Kota Palu. 2007. Laporan Kumpulan Data Status Lingkungan Hidup Daerah (BLHD) Kota Palu Tahun 2007. Palu, Indonesia.
- [PPRI] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. 2021. Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Nomor 22. Jakarta, Indonesia.
- Prakaatmaja, D.D., Basuki, M., & Pranatal, E. 2020. Penilaian risiko lingkungan akibat air pembuangan air balas di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. *Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan*, 2(1): 79-84.

- Purbani, D.C., Ambarwati, W., Kusuma, A.B., Herliany, N.E. 2019. Identifikasi mikroalga laut dari Tambrauw, Papua Barat. *Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 11(3): 777-790.
- Purbani, D.C., Noerdjito, D.R., Purnaningsih, I., Yuliani, Y., & Prabowo, D.A. 2021. Analisis morfologi dan filogenetik molekuler alga hijau coccoid yang diisolasi dari Pulau Enggano. *Berita Biologi*, 20(3): 301-312.
- Putra, I., Zulkifli, & Siregar, S.H. 2015. Spesies composition and abundance of marine phytoplankton of Darul Aman water [skripsi]. Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Riau. Pekanbaru, Indonesia.
- Putri, S.W., Alianto, Musyeri, P., & Wikram. 2023. Jenis dan kelimpahan plankton di Pantai Dosa, Kabupaten Manokwari, Provinsi Papua Barat. *Nusantara Hasana*, 2(12): 1-12.
- Rahayu, R.I., & Susilo, H. 2021. Keanekaragaman mikroalga sebagai bioindikator pencemaran di Situ Cibanten Kecamatan Ciomas Kabupaten Serang Banten. *Jurnal*, 4(2): 104-120.
- Rakotondrabe, F., Ngoupayou, J.R.N., Mfonka, Z., Rasolomanana, E.H., Abolo, A.J.N., & Ako, A.A. 2018. Water quality assessment in the Betare-Oya gold mining area (East-Cameroon): Multivariate Statistical Analysis approach. *Science of The Total Environment*, 610-611: 831-844.
- Rohmi, Y. 2019. Keanekaragaman dan kelimpahan fitoplankton sebagai bioindikator kualitas lingkungan di area pengolahan emas tradisional Sekotong Kabupaten Lombok Barat [skripsi]. Jurusan Pendidikan IPA Biologi, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Mataram. Mataram, Indonesia.
- Round, F.E., Crawford, R.M., & Mann, D.G. 1990. The Diatoms; Biology and Morphology of The Genera. Cambridge University Press, Cambridge.
- Rusydi, R. 2018. Prospektif Biodiesel dari Cyanobacteria dan Mikroalga. Sefa Bumi Persada: Lhokseumawe.
- Sagita, A., Kurnia, R., & Sulistiono. 2018. Penilaian kondisi ekologi perairan untuk pengembangan budidaya kerang hijau (*Perna viridis* L.) di pesisir Kuala Langsa, Aceh. *Bawal*, 10(1): 57-67.
- Sahu, G., Satpathy, K., Mohanty, A., & Sarkar, S. 2012. Variations in community structure of phytoplankton in relation to physicochemical properties of coastal waters, southeast coast of India. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 41(3): 223-241.
- Salmaso, N., & Tolotti, M. 2020. Phytoplankton and anthropogenic changes in pelagic environments. *Hydrobiologia*, 848: 251-284. doi: 10.1007/s10750-020-04323-w.
- Scott, F.J., & Thomas, D.P. 2005. Diatoms. In: Scott, F.J., & Marchant, H.J. (Eds.). Antarctic Marine Protists. Australian Biological Resources Study; Australian Antarctic Division, Canberra and Hobart, Australia, pp. 13-201.
- Setianingsih, M. 2016. Analisis struktur komunitas fitoplankton di perairan Tanjung Perak Surabaya untuk menduga adanya invasif spesies [skripsi]. Program Studi Ilmu Kelautan Jurusan Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan dan Kelautan Universitas Brawijaya. Malang, Indonesia.
- Setiawan, A., Supriyadi, F., Noor, G.E., Fadli, M., & Murdimanto, A. 2016. *Profil Kelautan dan Perikanan Kabupaten Kepulauan Sangehe dan Kabupaten Kepulauan Talaud, Propinsi Sulawesi Utara*. Puslitbang Sumberdaya Laut dan Pesisir, Badan Litbang Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Jakarta, Indonesia.
- Sharifah, N.E., Nosi, M.Z.M., & Khaton, H. 2016. Phytoplankton *Ankistrodesmus* sp. as an alternative tool in controlling fish disease. *Aquaculture, Aquarium, Conservation and Legislation Bioflux*, 9(1): 42-49.
- Silkin, V.A., Abakumov, A.I., Pautova, L.A., Pakhomova, S.V., & Lifanchuk, A.V. 2016. Mechanisms of regulation of invasive processes in phytoplankton on the example of the north-eastern part of the Black Sea. *Aquatic Ecology*, 50: 221-234.
- Siregar, S.H. 2007. Variasi diatom (Bacillariophyceae) pada beberapa type substrat di kawasan Patra Dock, Dumai. Laporan Penelitian Program Hibah Kompetisi A2 Jurusan Ilmu Kelautan Tahun Anggaran 2007. Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Riau. Pekanbaru, Indonesia.
- Siregar, S.H., Mulyadi, A., & Hasibuan, O.J. 2008. Struktur komunitas diatom epilitik (Bacillariophyceae) pada lambung kapal di perairan Dumai Provinsi Riau. *Ilmu Lingkungan*, 2(2): 33-47.

- Siregar, S.H., Mulyadi, A., & Simanihuruk, T. 2012. Variations of epipelagic diatom from sediment at Mesjid River estuary, Dumai, Riau Province. Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Riau. Pekanbaru, Indonesia.
- Sujarta, P., Ohee, H.L., & Rahareng, E. 2011. Kajian keragaman plankton dan ikan di perairan Teluk Tanah Merah Distrik Depapre, Kabupaten Jayapura, Papua. *Biologi Papua*, 3(2): 67-73.
- Sulistiowati, D., Tanjung, R.H.R., & Lantang, D. 2016. Keragaman dan kelimpahan plankton sebagai bioindikator kualitas lingkungan di perairan Pantai Jayapura. *Biologi Papua*, 8(2): 79-96.
- Sundstrom, B.G. 1986. The marine diatom genus *Rhizosolenia*: A new approach to the taxonomy. Ph.D. thesis, Lund University, Sweden.
- Suryadi, I.B.B., & Kelana, P.P. 2017. Struktur komunitas fitoplankton di perairan Pangandaran. *Akuatika Indonesia*, 2(2): 163-171.
- Syahnaniati, A.P., & Sunardi. 2019. Distribusi vertikal fitoplankton berdasarkan kedalaman di Pantai Timur Pananjung Pangandaran, Jawa Barat. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*, 5(1): 81-88.
- Syahrial, Saleky, D., & Merly, S.L. 2021. Keong mangrove *Cassidula angulifera* (Gastropoda: Ellobiidae) di Pantai Payum Merauke Papua Indonesia: Struktur populasi, karakteristik lingkungan dan faktor penentu distribusi serta kepadatannya. *Biologi Indonesia*, 17(1): 47-56. doi: 10.47349/jbi/17012021/47.
- Tang, Z., Butkus, M.A., & Xie, Y.F. 2006. Crumb rubber filtration: A potential technology for ballast water treatment. *Marine Environmental Research*, 61(4): 410-423.
- Thovyan, A.I. 2018. Struktur komunitas, kelimpahan plankton dan status kondisi lingkungan pada habitat pencarian makan pari manta karang (*Mobula alfredi*) di Selat Dampier Kabupaten Raja Ampat [tesis]. Program Pascasarjana Universitas Papua. Manokwari, Indonesia.
- Triawan, A.C., & Arisandi, A. 2020. Struktur komunitas fitoplankton di perairan muara dan laut Desa Kramat Kecamatan Bangkalan Kabupaten Bangkalan. *Juvenil*, 1(1): 97-110.
- Udayan, A., Pandey, A.K., Sirohi, R., Sreekumar, N., Sang, B., Sim, S.J., Kim, S.H., & Pandey, A. 2022. Production of microalgae with high lipid content and their potential as sources of nutraceuticals. *Phytochemistry Reviews*, 22: 833-860.
- Uji, T., Sunaryo, Rachman, E., & Tihurua, E.F. 2010. Jenis flora asing invasif di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango, Jawa Barat. *Biota*, 15(2): 167-173.
- Weliyati, E. 2013. Identifikasi spesies fitoplankton penyebab *Harmful Algal Bloom* (HAB) di perairan Tarakan. *Harpodon Borneo*, 6(1): 27-35.
- Widianingsih, Hartati, R., Djamali, A., & Sugestiningih. 2007. Kelimpahan dan sebaran horizontal fitoplankton di perairan pantai timur Pulau Belitung. *Ilmu Kelautan*, 12(1): 6-11.
- Widjaja, E.A., Rahayuningsih, Y., Rahajoe, J.S., Ubaidillah, R., Maryanto, I., Walujo, E.B., & Semiadi, G. 2014. Kekinian Keanekaragaman Hayati Indonesia 2014. LIPI Press: Jakarta.
- Wijihastuti, R.S., Luthfiah, A., & Noriko, N. 2020. Pengaruh pertumbuhan *Spirulina* sp. terhadap penggunaan pupuk organik cair sebagai media tumbuh. *Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*, 5(4): 202-207.
- Wittmann, A.C., & Portner, H. 2013. Sensitivities of extant animal taxa to ocean acidification. *Nature Climate Change*, 3: 995-1001.
- Yamaji, I. 1966. *Illustration of Marine Plankton of Japan*. Hoikusha Publishin Co. Ltd: Osaka.
- Zeinalzadeha, K., & Rezaei, E. 2017. Determining spatial and temporal changes of surface water quality using principal component analysis. *Hydrology: Regional Studies*, 13: 1-10.