

Kualitas Perairan Pesisir Pantai Gili Trawangan Berdasarkan Fisika Kimia Perairan, Indeks Keanekaragaman Dan Spesies Indikator (Filum Mollusca) Sebagai Modul Ekologi Hewan

Usman^{1*}, Asrorul Azizi²

^{1,2} Prodi Pendidikan IPA, Institut Pendidikan Nusantara Global, Lombok Tengah, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v5i2.337>

Article Info

Received: 02 May 2024

Revised: 25 May 2024

Accepted: 30 May 2024

Correspondence:

Phone: +6281804457866

Abstract: The purpose of this research is to know ecosystem changes of water in Gili Trawangan seashore with diversity index, physic chemical of water and species indicator of Mollusca. The result showed that diversity index is high with condition of physical chemical of water in standard tolerance level for Mollusca. Species indicator of Mollusca whose showed the water quality are yaitu *Glycimeris pectunculus*, *Thais hippocastanum*, *Cypraea annulus*, *Harpa amouretta*, *Conus flavidus*, *Mitra proscissa* and *Strombus hirasei*. *Cypraea annulus*, *Turbo bruneus*, *Drupa grossularia*, *Mitra aurantia*, dan *Morulla marginalba*. *Littorinia pulchra* dan *Cerithium muscarum*. *Self instructional Module* have developed is suitable in used by student.

Keywords: Gili Trawangan, Seashore; Water quality; Diversity index; Physic chemical; Indicator species; Self-instructional module.

Citation: Usman, U., & Azizi, A. (2024). Kualitas Perairan Pesisir Pantai Gili Trawangan Berdasarkan Fisika Kimia Perairan, Indeks Keanekaragaman Dan Spesies Indikator (Filum Mollusca) Sebagai Modul Ekologi Hewan. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 5(2), 240-249 DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v5i2.337>

Pendahuluan

Tingginya aktivitas masyarakat dan turis memungkinkan terjadinya kerusakan ekosistem pesisir pantai di Gili Trawangan. Kawasan Gili Trawangan sendiri telah ditetapkan sebagai Taman Wisata Alam Laut (TWAL) dalam surat keputusan Menteri Kehutanan No. 85/Kpts-II/93 tanggal 19 Pebruari 1993. Namun, pada umumnya masyarakat masih kurang menyadari akan manfaat dari pesisir pantai sehingga masih belum ada pemicu dan penggerak kesadaran tersebut yang melahirkan usaha pengelolaan pesisir pantai. Hal ini diperparah dengan dibangunnya sarana akomodasi pariwisata berupa hotel, bungalow, restoran, tempat penjualan barang kerajinan, serta kegiatan penunjang pariwisata yang dapat mengakibatkan rusaknya ekosistem pesisir. Ekosistem perairan pantai dapat berubah dan tercemar akibat adanya aktivitas di sekitarnya (Teso & Penchaszadeh, 2008). Perubahan ekosistem perairan dapat dilihat dengan adanya perubahan kondisi fisika kimia perairan serta kemelimpahan dan distribusi biota yang menghuninya.

Salah satu yang bisa dijadikan indikator kualitas perairan pantai adalah Mollusca. Hal ini dapat dilakukan dengan melihat spesies, ciri-ciri, dan tingkat keanekaragaman *Mollusca* (Clarke *et al.*, 2000), yang mendiami ekosistem pesisir. Lingkungan tempat hidup *Mollusca* berbeda-beda ada yang mampu hidup di lingkungan yang sudah tercemar maupun yang masih alami, tergantung tingkat resistensi tubuhnya. Kemampuan resistensi ini merupakan kemampuan adaptasi terhadap perubahan lingkungan yang meliputi perubahan fisik, fisiologis dan tingkah laku (Dharmawan *et al.*, 2005; Liehr *et al.*, 2005; Korte, 2010; Pulgar *et al.*, 2012). Penggunaan spesies lokal yang menempati suatu habitat merupakan indikator yang cocok digunakan sebagai pemantau kondisi lingkungan (Besten & Munawar, 2005). Cinar *et al.* (2012) menyatakan bahwa kehadiran/ketidakhadiran atau juga kemelimpahan *Mollusca* serta distribusinya menjadi indikator suatu lingkungan.

Di Indonesia, penggunaan potensi lokal sebagai sumber belajar sangat ditekankan oleh pemerintah di lembaga pendidikan. Lembaga pendidikan dari jenjang SD-Perguruan tinggi sangat kurang sekali dalam mengangkat potensi

daerah dalam pembelajaran di kelas. Pada jenjang perguruan tinggi, kurikulum yang ditekankan merujuk pada Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia. Kurikulum ini menekankan pembelajaran yang bersifat kontekstual. Learning outcomes dari pembelajaran harus meliputi 3 aspek yaitu pengetahuan, sikap dan psikomotor (Kemendikbud, 2013). Penyusunan Modul ekologi hewan merupakan bahan ajar yang sangat dibutuhkan di perguruan tinggi sehingga tercapainya Learning outcomes tersebut. Pimmell *et al.*, (2000) menyatakan bahwa kemampuan mahasiswa dalam mencapai learning outcomes dapat ditingkatkan dengan berbantuan modul. Learning outcomes tersebut dapat dilihat dengan kemampuan menulis, dan oral (komunikasi) dalam pembelajaran.

Metode

Metode dalam penelitian ini ada 2 yaitu penelitian deskriptif eksploratif dan pengembangan.

A. Penelitian eksploratif

Dalam penelitian eksploratif ini terbagi menjadi tiga tahapan yaitu:

1. Perencanaan

Tahap perencanaan dilakukan untuk menentukan stasiun pengamatan yang akan digunakan yakni menjadi empat stasiun pengamatan berdasarkan karakteristik wilayah. Stasiun I (E 08⁰ 20.482 S 116⁰ 01.832) memiliki karakteristik wilayah berupa ekosistem pesisir yang didominasi oleh karang dan tanaman lamun, disamping itu terdapat perhotelan disekitar pantai. Stasiun II (E 08⁰ 20.534 S 116⁰ 01.786) merupakan wilayah yang didominasi oleh tanaman lamun dan merupakan lahan kosong di sekitar pantai. Pada stasiun III (E 08⁰ 20.639 S 116⁰ 01.729) merupakan wilayah yang banyak dijadikan tempat aktivitas turis dan masyarakat, terdapat perhotelan, rumah makan dan took-toko di sekitar pantai. Pada stasiun IV (E 08⁰ 20.736 S 116⁰ 01.684) merupakan wilayah tempat berlabuhnya boat atau sampan untuk mengangkut wisatawan (Harbour). Dalam pengambilan dan pengukuran sampel baik *Mollusca* maupun digunakan teknik transek kuadran yang terdiri dari 5 transek pada masing-masing stasiun kemudian meletakkan kuadran di atasnya sebanyak 5 buah. Faktor fisika kimia yang dikumpulkan berupa DO,

BOD, COD, suhu, salinitas, pH dan tekstur substrat.



Gambar 1. stasiun pengamatan

1. Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan berupa hewan *Mollusca* dan sampel air. *Mollusca* yang dikumpulkan ditaruh pada kantong plastik yang sudah diberikan label untuk masing-masing transek dan kuadran. Untuk fisika kimia perairan diukur 5 kali ulangan pada masing-masing stasiun pengamatan.

1. Penganalisisan

Analisis Kandungan fisika kimia perairan

Kandungan kimia perairan berupa DO, BOD, COD, dan tekstur substrat dianalisis di laboratorium analitik Universitas Negeri Mataram. Faktor lainnya berupa suhu, salinitas, dan pH dilakukan pengukuran secara *in situ*. Untuk menentukan batas toleransi kandungan fisika kimia perairan berpatokan pada baku mutu air laut untuk kehidupan biota laut berdasarkan Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 tanggal 8 April 2004

Analisis spesies *Mollusca* dan Indeks Keanekaragaman

Penganalisisan spesies *Mollusca* yang ditemukan di pesisir pantai Gili Trawangan dilakukan di LIPI Jakarta.

Untuk mengukur indeks keanekaragaman *Mollusca* menggunakan indeks keanekaragaman Shannon-wiener dengan rumus:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad (\text{Krebs, 1989})$$

Keterangan:

H' = indeks keanekaragaman spesies

P = jumlah individu masing-masing spesies (ni/N)

ni = jumlah individu spesies i

N = jumlah total individu spesies

S = jumlah spesies

Pengambilan keputusan yang menunjukkan indeks keanekaragaman *Mollusca* pada suatu wilayah menggunakan kategori yang diadopsi dari Krebs (1989) seperti tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1. Nilai Kisaran dan Kategori Keanekaragaman Diadopsi dari Krebs, 1989

Nilai H'	Keanekaragaman
H' < 1	Keanekaragaman spesies rendah, penyebaran jumlah individu tiap spesies rendah dan kestabilan ekosistem rendah
1 < H' < 3	Keanekaragaman spesies sedang, penyebaran jumlah individu tiap spesies dan kestabilan ekosistem sedang
H' > 3	Keanekaragaman spesies tinggi, penyebaran jumlah individu tiap spesie

Analisis spesies Indikator

Untuk menganalisis spesies *Mollusca* yang dijadikan bioindikator dilakukan dengan menggunakan rumus dari Dufrene & Legendre (1997) dengan rumus:

$$A_{ij} = \frac{\bar{x}_{ij}}{\sum_j \bar{x}_{ij}} \quad \dots\dots\dots \text{persamaan 1}$$

$$B_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_j} \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 2}$$

$$IndVal_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100 \quad \dots \text{Persamaan 3}$$

Keterangan

A_{ij} = kemelimpahan relatif spesies i pada kelompok j (specificity)

\bar{x}_{ij} = rerata spesies i dalam kelompok j
 $\sum_j \bar{x}_i$ = jumlah rerata spesies i pada semua kelompok
 n_{ij} = jumlah sampel atau kuadran yang ditempati spesies i
 n_j = total jumlah kuadran pada kelompok j
 $IndVal_{ij}$ = nilai indikator spesies i pada kelompok j
 (Dikembangkan dari Dufrene and Legendre, 1997)
 Untuk pengambilan keputusan dijadikannya spesies Mollusca sebagai bioindikator dengan ketentuan nilai Indicator Value (IndVal) > 25 (Dufrene & Legendre, 1997)

A. Penelitian pengembangan

Penelitian pengembangan dilakukan untuk menghasilkan produk bahan ajar untuk Mahasiswa S1 jurusan pendidikan biologi berupa Modul Ekologi Hewan. Tahapan dalam pengembangan Modul menggunakan pendekatan dari Thiagarajan et al yaitu, Define, Design, Develop and Desseminate (Model four-D). modul yang telah dikembangkan divalidasi oleh dua dosen ahli yaitu ahli media dan ahli materi dengan kategori minimal pendidikan S3 sesuai bidang keilmuan.

Analisis data pengembangan Modul

Skor hasil validasi dari dosen ahli kemudian dijumlahkan dan dilanjutkan menghitung persentase perolehan dengan rumus:

$$P = \frac{\sum Xi}{\sum x} \times 100\%$$

Keterangan:

P = persentase penilaian

$\sum xi$ = jumlah skor jawaban dari validasi

$\sum x$ = Jumlah jawaban tertinggi

Untuk pengambilan keputusan mengenai layak atau tidaknya modul yang telah dikembangkan untuk dipergunakan dalam pembelajaran dengan ketentuan:

Tabel 2. Ketentuan Pengambilan Keputusan Modul (Diadaptasi dari Setyosari dan Effendi, 1991)

Tingkat Pencapaian (%)	Kualifikasi	Keterangan
> 80	Sangat baik	Tidak perlu

70 - 80	Baik	revisi
60 - 69	Cukup	Tidak perlu
50 - 59	Kurang	revisi
< 50	Sangat kurang	Direvisi

Hasil dan Pembahasan

A. Penelitian Eksploratif

Hasil Pengukuran dan Analisis Fisika kimia Perairan di Pesisir Pantai Gili Trawangan

Hasil rerata pengukuran fisika kimia perairan pesisir pantia Gili Trawangan yaitu:

Tabel 3 Ringkasan Rerata Pengukuran Kondisi Fisika-Kimiawi Perairan Pesisir Pantai Gili Trawangan tiap stasiun pengamatan

Parameter	Stasiun I	Stasiun II	Stasiun III	Stasiun IV	Baku mutu
DO (mg/L)	4,08	3,24	2,39	2,62	>5
BOD ₅ (mg/L)	0,34	1,71	1,61	1,81	< 20
COD (mg/L)	4,17	4,71	5,07	6,06	-
Salinitas (‰)	33,80	32,90	32,40	33,40	Alami*
pH	8,06	8,04	8,06	8,05	7-8,5
Suhu (°C)	27,80	27,40	27,58	28,40	Alami*
Pb (mg/L)	0,01	0,003	0,004	0,004	0,008
Cd (mg/L)	TT	0,001	0,001	0,002	0,001

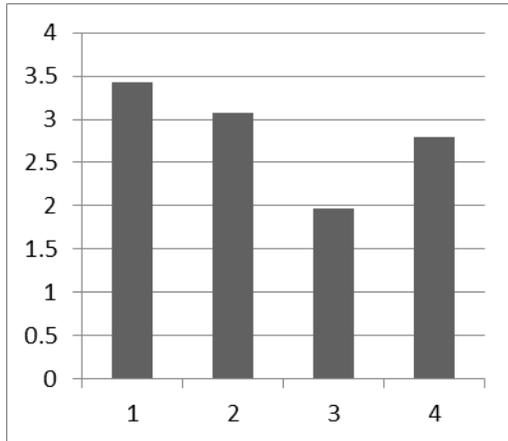
Catatan: *Alami adalah kondisi normal suatu lingkungan bervariasi setiap saat (siang, malam, dan musim)

TT : Tidak terdeteksi

Hasil Inventarisasi dan Tingkat keanekaragaman Mollusca di Pesisir Pantai Gili Trawangan

Hasil inventarisasi Mollusca pada semua stasiun pengamatan ditemukan sebanyak 47 spesies yang terdiri dari kelas Gastropoda dan bivalvia. Total keseluruhan individu spesies Mollusca yang ditemukan sebanyak 522 pada seluruh stasiun pengamatan. Indeks keanekaragaman (H') spesies Mollusca yang ditemukan pada

masing-masing stasiun pengamatan memiliki perbedaan, hal ini dapat dilihat pada diagram di bawah ini.



Penghitungan keanekaragaman dilakukan untuk mengetahui jumlah spesies yang terdapat dalam suatu wilayah. Penentuan indeks keanekaragaman (H') pada suatu stasiun pengamatan memiliki keanekaragaman (H') tinggi bila $H' > 3$, indeks keanekaragaman (H') sedang apabila H' antara 1-3 dan dikatakan indeks keanekaragamannya rendah apabila H' lebih kecil dari 1. Berdasarkan data hasil penghitungan spesies *Mollusca* di pesisir pantai Gili Trawangan, pada stasiun I dan II masih tergolong tinggi karena memiliki indeks di atas standar yang telah ditetapkan yaitu 3, 43 dan 3,08. Pada stasiun III memiliki indeks keanekaragaman (H') sedang yaitu 1,97. Pada stasiun IV indeks keanekaragamannya masih tergolong sedang dengan indeks 2,8. Rerata keanekaragaman *Mollusca* di pesisir pantai Gili Trawangan sebesar 2,82 yang menunjukkan keanekaragaman sedang.

Analisis Indikator Spesies Mollusca yang dijadikan bioindikator perairan.

Spesies indikator atau spesies yang dijadikan bioindikator kualitas perairan antara satu stasiun dengan stasiun lainnya memiliki perbedaan. Namun ada beberapa spesies yang menunjukkan menjadi spesies indikator pada 2 stasiun pengamatan. Spesies indikator ini menunjukkan kualitas perairan yaitu kualitas perairan yang belum tercemar. Spesies yang dijadikan indikator kualitas perairan harus memiliki nilai Indicator Value > 25 . Hal ini

menunjukkan kemelimpahan spesies-spesies tersebut. Untuk lebih jelasnya spesies yang menunjukkan kualitas perairan yang belum tercemar pada stasiun masing-masing stasiun pengamatan dapat dilihat pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 4 Hasil Analisis Nilai *Indicator Value* (IndVal) Spesies pada masing-masing Stasiun Pengamatan (Kelompok)

No	Spesies	IndVal tiap Stasiun			
		I	II	III	IV
1	<i>G. pectunculus</i>	26,7	-	-	-
2	<i>T. subulate</i>	40	-	-	-
3	<i>C. annulus</i>	26	41	-	-
4	<i>T. bruneus</i>	-	32	-	-
5	<i>L. pulchra</i>	-	-	42	-
6	<i>T. hippocastanum</i>	63	-	-	-
7	<i>H. amouretta</i>	27	-	-	-
8	<i>C. flavidus</i>	44	-	-	-
9	<i>T. nilotocus</i>	-	30	-	-
10	<i>O. edwardsii</i>	28	32	-	-
11	<i>D. grossularia</i>	-	30	-	-
12	<i>M. aurantia</i>	-	53	-	-
13	<i>M. proscissa</i>	32	-	-	-
14	<i>S. hirasei</i>	30	-	-	-
15	<i>C. muscarum</i>	-	-	52	-
16	<i>Morulla marginalba</i>	-	70	-	-

A. Penelitian Pengembangan

Dari hasil validasi untuk keterbacaan modul ekologi hewan dari mahasiswa Jurusan Pendidikan Biologi Institut Agama Islam Negeri (IAIN) Mataram sebanyak 22 orang mahasiswa. Mahasiswa tersebut terbagi menjadi 2 tingkatan yaitu 11 orang mahasiswa yang belum menempuh matakuliah ekologi hewan. Persentase skor yang diperoleh dari keterbacaan modul yang dikembangkan berkisar antara 70-86%. Persentase skor keterbacaan modul yang dikembangkan oleh mahasiswa yang sudah menempuh matakuliah ekologi hewan diperoleh persentase antara 70-80%

Kualitas Perairan dan Keanekar

Gili Trawangan merupakan daerah pariwisata yang memiliki iklim yang tidak tetap. Berdasarkan keadaan iklim tersebut menyebabkan kawasan Gili Trawangan mampu sebagai habitat fauna dunia seperti *Mollusca*. Penyebaran *Mollusca* pada umumnya mengikuti keadaan lingkungan daerah surut air laut. Penyebaran *Mollusca* juga tidak sama untuk masing-masing famili karena adanya spesies-spesies yang dominan. Adapun yang menentukan sebaran fauna setempat adalah keadaan lingkungan fisika kimia perairan berupa suhu, pH, tekstur tanah dan intensitas cahaya.

Hasil pengamatan di daerah pasang surut air laut pesisir pantai Gili Trawangan ditemukan 47 spesies dari 24 famili *Mollusca* dengan jumlah total 522 individu. Spesies *Mollusca* yang ditemukan di pesisir pantai Gili Trawangan terdiri dari dua kelas yaitu kelas Gastropoda dan Bivalvia. Penelitian yang telah dilakukan oleh Riniatsih & Kushartono (2009) yang menyatakan bahwa Gastropoda dan Bivalvia memiliki distribusi yang luas dalam ruang dan waktu, yang umumnya hidup disepanjang pantai atau perairan dangkal dengan tekstur substrat berpasir, pasir berlumpur, dan lumpur. Penelitian yang dilakukan oleh Siregar *et.al.*(2013) menunjukkan bahwa *Mollusca* yang menghuni habitat tipe substrat berpasir lebih banyak dari kelas Gastropoda. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Ibrohim (1997) mengungkapkan bahwa Gastropoda yang ditemukan sebanyak 18 spesies yang menghuni daerah bersubstrat pasir pada stasiun-stasiun pengamatan di perairan pasang-surut pantai Bama, Taman Nasional Baluran-Jawa Timur. Hal ini mengindikasikan bahwa Gastropoda cocok hidup di habitat yang memiliki tekstur substrat berpasir di pesisir pantai Gili Trawangan.

Mollusca merupakan hewan yang laut yang memiliki keanekaragaman terbesar di dunia. Konsep mengenai keanekaragaman merupakan konsep yang sangat luas, bisa berarti keanekaragaman di dalam spesies dan ekosistem Murugan & Edward, 2000). Keanekaragaman spesies tersebut dapat dihitung menggunakan indeks keanekaragaman Shannon-wiener (H'). Indeks keanekaragaman (H') dapat diartikan sebagai suatu penggambaran secara sistematis yang melukiskan struktur komunitas dan dapat memudahkan menganalisa macam dan jumlah organisme. Menurut Krebs (1989), kategori keanekaragaman komunitas tinggi bila kisaran indeks keanekaragaman (H') > 3, keanekaragaman komunitas sedang bila kisaran indeks keanekaragaman (H') antara 1-3 dan keanekaragaman komunitas rendah apabila indeks keanekaragaman (H') < 1.

Indeks keanekaragaman juga menggambarkan kondisi suatu lingkungan. Menurut Thomas *et. al.* (1973) dalam Dharmawan *et. al.* (2005) menyatakan

bahwa indeks keanekaragaman > 2 menggambarkan kondisi lingkungan yang tidak tercemar, indeks antara 1,6-2,0 menggambarkan kondisi perairan tercemar ringan, indeks 1,0-1,6 menggambarkan kondisi perairan tercemar sedang dan indeks dibawah 1,0 menggambarkan kondisi perairan tercemar berat.

Nilai indeks keanekaragaman (H') pada penelitian ini menunjukkan bahwa indeks keanekaragaman *Mollusca* pada stasiun I sebesar 3,43 menunjukkan indeks keanekaragaman tinggi. Indeks ini menunjukkan bahwa kondisi perairan tergolong belum tercemar. Pada stasiun I ini, kondisi fisika kimia perairan berupa DO, BOD, COD, suhu, salinitas, pH, dan senyawa polutan masih dalam kategori belum tercemar berdasarkan baku mutu untuk kehidupan biota laut pada tabel 3. Stasiun II memiliki indeks keanekaragaman (H') *Mollusca* sebesar 3,08 menunjukkan keanekaragaman spesies *Mollusca* tinggi. Pada stasiun II ini memiliki indeks keanekaragaman *Mollusca* tinggi. Kondisi fisika kimia perairan juga mendukung tingginya indeks keanekaragaman *Mollusca* pada stasiun II (Lihat tabel 3).

Pada stasiun III merupakan wilayah yang memiliki indeks keanekaragaman (H') *Mollusca* terendah yaitu sebesar 1,97, namun masih menunjukkan keanekaragaman spesies sedang. Hal ini juga mencerminkan kondisi perairan pada stasiun ini termasuk dalam kategori tercemar ringan dan kestabilan ekosistem sedang. Kondisi fisika kimia perairan pada stasiun ini sangat menentukan indeks keanekaragaman *Mollusca*. Pada stasiun IV memiliki indeks keanekaragaman sebesar 2,8 menunjukkan tingkat variasi spesies *Mollusca* sedang, kondisi perairan relatif masih belum tercemar dan memiliki kestabilan ekosistem labil. Keanekaragaman biota dalam suatu perairan sangat tergantung pada banyaknya spesies dalam komunitasnya. Semakin banyak spesies dalam komunitas yang ditemukan maka keanekaragaman akan semakin besar, meskipun nilai ini sangat tergantung pada jumlah individu masing-masing spesies (Wilhm & Doris (1986) dalam Insafitri, 2010). Penelitian yang sama yang dilakukan oleh Mudjiono (1997) melaporkan bahwa indeks keanekaragaman *Mollusca* di pesisir pantai Gili Trawangan masih tinggi.

Krebs (1989) menjelaskan bahwa tinggi rendahnya keanekaragaman dipengaruhi oleh banyak faktor salah satunya adalah kualitas lingkungan dan tekanan ekologis terhadap biota tersebut. Pengukuran kualitas perairan pada penelitian ini berupa kandungan DO, BOD, COD, pH, salinitas, Suhu, senyawa polutan berupa logam berat Pb dan Cd serta tekstur substrat. Pada stasiun I rerata kandungan DO (*Dissolved Oxygen*) sebesar 4,08 mg/L. Pada stasiun II

rerata kandungan DO (*Dissolved Oxygen*) sebesar 3,24 mg/L. Pada stasiun III rerata kandungan DO (*Dissolved Oxygen*) sebesar 2,39 mg/L. pada stasiun terakhir yaitu stasiun IV rerata kandungan DO (*Dissolved Oxygen*) sebesar 2,62 mg/L. Perbedaan kandungan DO ini diduga mengakibatkan indeks keanekaragaman bervariasi pada masing-masing stasiun pengamatan. Oksigen terlarut merupakan variabel kimia yang mempunyai peran penting sekaligus faktor pembatas bagi kehidupan biota air (Nybakken, 1992).

Oksigen merupakan dasar utama yang digunakan demi keberlangsungan hidup organisme termasuk juga biota akuatik. Oksigen terlarut dalam air juga digunakan untuk menguraikan bahan organik dalam air. Kelarutan oksigen dalam air tergantung pada temperatur dari air, tekanan parsial oksigen dalam atmosfer dan kandungan garam dalam air (Cancino *et al.*, 2003; Markfort & Hondzo, 2009). Daya larut oksigen dapat berkurang dengan meningkatnya suhu air dan salinitas. Secara ekologis, konsentrasi oksigen terlarut juga menurun dengan adanya penambahan bahan organik, hal ini disebabkan karena bahan organik tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang mengkonsumsi oksigen yang tersedia. Pada tingkatan spesies, masing-masing biota mempunyai respon yang berbeda terhadap penurunan oksigen terlarut. Kadar oksigen terlarut tertinggi terdapat di lingkungan pesisir di pinggir air yang terbuka dimana ombak terus menerus mengaduk air. Oksigen terlarut sangat penting untuk menunjang kehidupan organisme khususnya *Mollusca* dalam proses respirasi dan dekomposisi bahan organik.

Faktor kimia lain yang memiliki andil dalam penentuan indeks keanekaragaman yaitu BOD. Rerata kandungan BOD (*Biological Oxygen Demand*) tertinggi terdapat pada stasiun I sebesar 1,81 mg/L, sedangkan kadar BOD (*Biological Oxygen Demand*) terendah terletak pada stasiun IV sebesar 0,34 mg/L hal ini sangat memungkinkan bagi biota laut untuk hidup yang berada di bawah ambang batas yaitu 20 mg/L. Kandungan BOD (*Biological Oxygen Demand*) tertinggi terdapat pada stasiun I sebesar 1,81 mg/L, sedangkan kadar BOD (*Biological Oxygen Demand*) terendah terletak pada stasiun IV sebesar 0,34 mg/L hal ini sangat memungkinkan bagi biota laut untuk hidup yang berada di bawah ambang batas yaitu 20 mg/L. Joesidawati (2008) menyatakan bahwa keanekaragaman tidak hanya ditentukan oleh banyaknya individu spesies akan tetapi ditentukan oleh dominansi dan pemerataan dan kandungan oksigen terlarut.

Kandungan oksigen terlarut dibutuhkan oleh *Mollusca* untuk pertumbuhan dan

perkembangbiakannya. Barus (2004) mengungkapkan bahwa konsentrasi oksigen terlarut dalam air hanya berpengaruh secara nyata terhadap organisme air yang memang mutlak membutuhkan oksigen terlarut untuk respirasinya. Keanekaragaman *Mollusca* yang tinggi pada pesisir pantai Gili Trawangan mungkin tidak hanya dipengaruhi oleh faktor oksigen terlarut saja, akan tetapi ada faktor lain yang menunjang kehidupan *Mollusca* sehingga memiliki tingkat keanekaragaman yang tinggi.

Faktor lain yang menunjang indeks keanekaragaman tinggi pada masing-masing stasiun pengamatan yaitu COD, suhu, salinitas, pH, senyawa polutan dan juga tekstur substrat tempat hidup *Mollusca*. Menurut Zeybek *et.al.* (2012), kandungan COD berkorelasi negatif dengan kelimpahan dan distribusi spesies *Mollusca*. Nilai COD yang diperoleh dari hasil pengukuran dan penganalisisan air dapat menunjukkan banyaknya zat organik maupun anorganik di dalam perairan. Nilai kandungan COD perairan pesisir pantai Gili Trawangan masih dibawah baku mutu yaitu < 80 mg/L. Dari data tersebut yang diperoleh dari seluruh stasiun pengamatan menunjukkan kondisi perairan masih bersih. Hasil serupa dari Rochyatun (1999) yang menganalisis kandungan COD di perairan muara sungai kali Porong Solo dengan berpatokan pada baku mutu yang ditetapkan oleh keputusan menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No: 02/MENKLH/I/1998 yaitu kandungan COD harus dibawah 80 mg/L. Hutabarat & Evans (2008) dan Dee Meester *et.al.* (2011) menjelaskan bahwa kisaran salinitas antara 15-35⁰/₀₀ mempengaruhi penyebaran *Mollusca* baik secara horizontal maupun vertikal. Faktor suhu sangat mempengaruhi perkembangan *Mollusca*.

Hynes (1978) menyatakan pH yang tidak menguntungkan bagi organisme yaitu pH < 5 dan pH > 9. Kelebihan dan kekurangan pH akan mengakibatkan terganggunya metabolisme tubuh dan respirasi *Mollusca* (Barus, 2002). Terganggunya metabolisme tubuh dan respirasi *Mollusca* bisa menyebabkan kematian apabila terpapar terus menerus. pH perairan di pesisir Gili Trawangan merupakan pH optimum untuk perkembangan *Mollusca* (Tabel 3). Hasil penelitian Sirante (2012) menunjukkan bahwa rerata pH dari stasiun pengamatan I sebesar 7,76 dan stasiun pengamatan II sebesar 7,58 berpengaruh signifikan terhadap distribusi dan kelimpahan gastropoda. Penelitian serupa dilakukan oleh Arbi (2011) memperlihatkan bahwa pH di pesisir pantai Talises berkisar dari 7,69 – 8,18. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa pH memiliki keterkaitan antara pH dan kelimpahan dan

distribusi Molusca. *Mollusca* yang diperoleh sebanyak 182 spesies yang terdiri dari 146 spesies dari kelas Gastropoda dan 36 spesies Pelecypoda atau Bivalvia.

Senyawa polutan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap keberlangsungan kehidupan *Mollusca*. Senyawa polutan pada stasiun pengamatan ini sudah teranalisis berupa logam berat Pb sebesar 0,004 mg/L dan Cd sebesar 0,002 mg/L. Rendahnya tingkat keanekaragaman pada stasiun III dan IV ini dibandingkan dengan stasiun I dan II kemungkinan disebabkan oleh adanya logam berat. Tekstur substrat dan kandungan C Organik pada tiap stasiun pengamatan memberikan andil yang cukup kuat terhadap tingkat keanekaragaman *Mollusca* pada masing-masing stasiun pengamatan. Faktor lain yang harus diperhitungkan yang menentukan tingkat keanekaragaman *Mollusca* pada tiap stasiun pengamatan yaitu tinggi rendahnya tekanan ekologis lain yang disebabkan oleh wisatawan.

Kualitas Perairan dan Spesies *Mollusca* Indikator perairan

Pesisir pantai Gili Trawangan merupakan salah satu taman bahari atau objek wisata yang banyak dikunjungi oleh turis baik lokal maupun mancanegara. Pengukuran kualitas perairan ini bertujuan untuk mengetahui status dari kondisi perairan serta menentukan faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi kualitas perairan tersebut (Robertson & Saad, 2003). Besten & Munawar, (2005) menambahkan bahwa pengukuran kualitas perairan untuk mengetahui persentase zat kimia yang dilepaskan ke lingkungan, serta untuk mengetahui resiko yang akan disebabkan. Di dalam mengukur atau menganalisis kualitas perairan di suatu wilayah dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti pendekatan fisik maupun kimia perairan, hidromorfologi, maupun biologi (Borja *et al.*, 2009).

Kualitas perairan sangat mempengaruhi keberadaan biota sesil (bergerak lambat) yang menghuni perairan tersebut yang diakibatkan oleh kondisi substrat, nutrien dan polutan yang mencemari perairan (Whalan *et al.*, 2007). Pada penelitian ini menggunakan pendekatan fisik-kimia perairan dalam menentukan tingkat pencemaran air laut. Dari data yang telah dikumpulkan menunjukkan bahwa antara kondisi perairan dan kondisi *Mollusca* yang menempati pesisir pantai Gili Trawangan memiliki hubungan yang erat. Hal ini dapat dilihat adanya perbedaan-perbedaan jumlah spesies yang menempati stasiun-stasiun pengamatan. Demikian juga dengan kondisi fisika-kimia perairan pada masing-masing stasiun pengamatan memiliki perbedaan meskipun yang diukur tidak semuanya mencerminkan kondisi fisika-kimia seluruh perairan.

Kondisi fisik kimia perairan seperti DO, BOD, COD, salinitas, pH, suhu, logam berat berupa Cd dan Pb serta tekstur substrat telah dilakukan pengukuran. Kondisi fisika dan kimia perairan ini akan menentukan spesies-spesies yang dapat dijadikan sebagai bioindikator pencemaran. Untuk lebih jelasnya akan dibahas hubungan antara spesies-spesies indikator pada masing-masing stasiun pengamatan di bawah ini.

Pada stasiun I merupakan wilayah yang berdekatan dengan salah satu perhotelan. Pada stasiun I ini, walaupun berdekatan dengan perhotelan, namun kondisi ekosistem pantainya masih tergolong jarang terjamah manusia. Hal ini disebabkan karena wilayah pantai yang berdekatan dengan perhotelan seolah-olah menjadi area milik hotel (*private area*). Kondisi seperti inilah yang menyebabkan ekosistem pesisir masih alami. Tidak semua orang atau turis bisa masuk atau melintasi perhotelan. Ekosistem pada stasiun pengamatan ini, didominasi oleh ekosistem pesisir pantai yang berkarang dan terdapat banyak tumbuhan lamun.

Dilihat dari kondisi fisika kimia perairan, stasiun pengamatan ini masih tergolong belum tercemar. Dari rerata hasil pengukuran kualitas kimia perairan yaitu DO, BOD, COD, DO, suhu, salinitas, pH dan senyawa polutan (Pb dan Cd) (tabel 3) diduga memiliki andil yang besar dalam menentukan spesies indikator. Setiawan (2013) menyatakan jika kualitas air mendukung komunitas keanekaragaman *Mollusca* maka akan terjadi keseimbangan spesies dan jumlah individu yang ada. Pendedahan terus menerus oleh kondisi perairan mengakibatkan *Mollusca* sangat terpengaruh oleh kualitas perairan baik fisika maupun kimia yang akan berdampak pada tingkat distribusi dan kelimpahan *Mollusca*. Distribusi dan kelimpahan berkorelasi dengan spesies indikator kualitas perairan.

Menurut Lee (1978) dalam Setiawan (2013) menyatakan bahwa DO < 2 ppm dalam kategori tercemar berat, DO antara 2,00-4,4 ppm tergolong tercemar sedang, DO antara 4,5-6,5 ppm tergolong tercemar ringan, dan DO > 6,5 ppm tergolong tidak tercemar. Menurut KLH No. 24 Tahun 2004, batas minimum DO pada perairan pantai 5 mg/L (ppm). Hasil pengukuran oksigen terlarut (DO) pada stasiun I yaitu 4,08 mg/L (ppm). Hal ini mengindikasikan kualitas perairan pada stasiun ini tergolong tercemar ringan namun masih dibawah batas minimum untuk perkembangan *Mollusca*. Namun bila kita membandingkan dengan tingkat keanekaragaman (*H'*) *Mollusca* yang cukup tinggi, persebaran *Mollusca* yang merata, dan tidak terjadinya dominansi spesies seperti yang sudah dibahas sebelumnya, kemungkinan kandungan oksigen terlarut tidak terlalu berpengaruh

terhadap tingkat kelimpahan dan distribusi tersebut.

Penelitian Setiawan (2013) yang mengukur kandungan DO di desa Tongke-tongke dan Pasiramannu Kec. Sinjai Sulawesi Timur. Kandungan oksigen terlarut (DO) dalam perairan desa Tongke-tongke sebesar 5,7 mg/L, tergolong tercemar ringan dan di desa Pasiramannu sebesar 6,7 mg/L tergolong tidak tercemar, namun tidak berpengaruh terhadap keanekaragaman bentos yang cukup tinggi. Dari penelitian Setiawan (2013) tersebut, diduga memiliki kasus yang sama seperti di stasiun pengamatan I ini. Stasiun I memiliki kandungan DO yang mengindikasikan perairan tercemar ringan, namun tidak berpengaruh terhadap tingkat distribusi dan kelimpahan *Mollusca* yang tinggi. Kemungkinan lain yang menyebabkan tingginya kelimpahan *Mollusca* pada stasiun ini karena banyaknya tanaman lamun sebagai sumber makanan *Mollusca*.

Faktor lain yang juga menentukan kualitas perairan yaitu BOD. Lee (1978) dalam Setiawan (2013) menyatakan bahwa kategori kandungan BOD > 15 mg/L tergolong tercemar berat, BOD antara 5,0 - 15 mg/L tergolong tercemar sedang, BOD antara 3,0 - 4,9 mg/L tergolong tercemar ringan, dan BOD < 3,0 mg/L tergolong tidak tercemar. Berdasarkan hasil pengukuran pada stasiun I ini tergolong tidak tercemar dengan kandungan BOD₅ sebesar 0,34 mg/L (ppm). Berdasarkan kondisi kelimpahan dan distribusi *Mollusca* yang stabil pada stasiun ini, maka dapat disimpulkan bahwa kandungan BOD₅ berpengaruh terhadap spesies indikator yang ditemukan.

Faktor lain yang kemungkinan berpengaruh terhadap spesies indikator berupa *Mollusca* yaitu suhu, salinitas, dan pH. Faktor-faktor tersebut mencerminkan kondisi optimum bagi pertumbuhan dan perkembangan *Mollusca*. Penelitian Hutabarat & Evans (2008) dan De Meester (2011) menjelaskan bahwa kisaran salinitas antara 15 - 35⁰/₀₀ mempengaruhi kelimpahan dan distribusi *Mollusca*. Rerata hasil pengukuran salinitas pada stasiun ini sebesar 33,08⁰/₀₀. Kandungan salinitas pada stasiun pengamatan ini menjadi faktor penentu kelimpahan dan distribusi *Mollusca*. Rerata suhu hasil pengukuran pada stasiun ini sebesar 27,80 °C. Menurut Clark (1986), suhu optimum untuk perkembangan *Mollusca* berkisar antara 25 - 31 °C. Odum (1993) menjelaskan bahwa suhu merupakan faktor pembatas bagi *Mollusca* karena memiliki toleransi yang sempit (stenothermal). Potensi suhu yang optimum bagi *Mollusca* pada stasiun ini memberikan andil tingginya kelimpahan dan distribusi *Mollusca*.

Selain faktor-faktor fisika kimia yang telah dibahas di atas, kandungan C Organik, tekstur substrat,

dan kandungan senyawa polutan juga mempengaruhi tingkat kelimpahan dan distribusi *Mollusca*. Hasil pengukuran kandungan C organik substrat sebesar 1,02%, tekstur substrat yang sebagian besar berpasir sebesar 41,31% dan sisanya berupa debu serta lempung. Senyawa polutan yang diukur pada perairan stasiun I ini berupa kandungan logam berat Pb sebesar 0,001 mg/L dan logam berat Cd tidak terdeteksi. Menurut surat Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup No. 54 tahun 2004 tentang baku mutu air laut, ambang batas Pb untuk kehidupan biota laut sebesar 0,008 mg/L, sedangkan untuk wisata bahari sebesar 0,005 mg/L. Berdasarkan ketentuan tersebut, maka air laut untuk kehidupan biota dan wisata bahari masih di bawah ambang batas

Hasil analisis kualitas perairan menunjukkan bahwa kualitas perairan pada stasiun I belum tercemar dan ditemukan spesies *Mollusca* yang dijadikan bioindikator berdasarkan indeks *indicator value* (IndVal) dari Dufrene & Legendre (1997) berupa: spesies *Thais hippocastanum*. Spesies *Thais hippocastanum* merupakan spesies yang memiliki indeks paling besar diantara spesies lainnya. Spesies ini menyukai tempat hidup di antara bebatuan karang dan memiliki resistensi terhadap senyawa-senyawa polutan seperti TBT (Ferdaus, 2006). Dengan adanya kemampuan resistensi terhadap senyawa polutan, spesies ini dapat dijadikan sebagai spesies indikator untuk perairan yang belum tercemar atau sudah tercemar. Menurut Ferdaus (2006), senyawa polutan dapat mengakibatkan imposex pada spesies *Thais* spp, hal ini akan mengakibatkan penurunan terhadap kelimpahan spesies ini.

Senyawa organotin dari TBT dapat mengganggu fisiologis *Mollusca*. Penelitian yang dilakukan oleh Oehlmann *et.al.* (2007) menunjukkan bahwa senyawa organotin ini dapat mengganggu fisiologi berupa rusaknya endokrin *Mollusca*, memblokir reseptor estrogen dan androgen sehingga mengakibatkan kegagalan reproduktif. Kegagalan reproduktif dapat mengakibatkan penurunan kelimpahan *Mollusca*. Beranjak dari pernyataan tersebut, semakin bagus faktor fisika kimia perairan yang mendukung kehidupan spesies *Thais hippocastanum* maka semakin bagus kelimpahan spesies ini dan mendukung untuk dijadikan sebagai indikator perairan yang belum tercemar.

Spesies lain yang digunakan sebagai bioindikator pencemaran yaitu spesies *Conus flavidus*. Pada umumnya, spesies ini hidup pada perairan dengan kedalaman kira-kira 5-10 m. Spesies *Conus flavidus* hidup pada habitat berkarang dan lamun (Muttenthaler *et al.*, 2012). Kemampuan hidup spesies ini akan terganggu apabila terjadi gangguan akibat

aktivitas manusia. Kemampuan hidupnya terhadap kondisi fisika kimia perairan yang belum tercemar diduga spesies ini cocok untuk dijadikan sebagai bioindikator untuk perairan yang belum tercemar. Hal ini diperkuat dengan temuan bahwa spesies ini memerlukan sumber makanan yang berlimpah berupa hewan-hewan kecil yang masih banyak terdapat pada kondisi ekosistem yang belum tercemar (Duda *et al.*, 2001).

Spesies *Mollusca* lain yang bisa dijadikan sebagai bioindikator perairan yang belum tercemar yaitu spesies *Mitra proscissa*. Spesies ini menyukai habitat rata-rata karang dan tumbuhan lamun. Spesies *Mollusca* lainnya yang menjadi indikator perairan yang belum tercemar yaitu spesies *Strombus hirasei*, *Glycimeris pectunculus*, *Harpa amouretta*, dan spesies *Cypraea annulus*. Spesies-spesies ini dapat dijadikan bioindikator diduga karena memiliki tingkat preferensi yang tinggi dengan kondisi fisika kimia perairan yang ada serta memiliki sumber makanan yang berlimpah pada stasiun pengamatan ini. Hal ini memberikan dugaan bahwa spesies-spesies tersebut merupakan spesies yang dijadikan indikator untuk lingkungan yang belum tercemar.

Pada stasiun II ini kondisi wilayah masih blum terlalu sering dijajah oleh turis dan penduduk. Hal ini dikarenakan tidak adanya wilayah pemukiman maupun hotel yang dibangun di sekitarnya. Kondisi wilayah ini mengindikasikan bahwa ekosistem yang ada juga masih alami. Kondisi ekosistem yang alami tersebut didukung hasil pengukuran kondisi fisika kimia perairan pada stasiun ini. Hasil pengukuran berupa DO, BOD, COD, suhu, salinitas, pH dan senyawa-senyawa polutan yang menandakan kualitas perairan di stasiun pengamatan ini. Pada stasiun II rerata kandungan *Dissolved Oxygen* (DO) air laut sebesar 3,24 mg/L. Menurut Lee (1978) dalam Setiawan (2013) menyatakan bahwa DO < 2 mg/L dalam kategori tercemar berat, DO antara 2,00 - 4,4 mg/L tergolong tercemar sedang, DO antara 4,5-6,5 mg/L tergolong tercemar ringan, dan DO > 6,5 mg/L tergolong tidak tercemar. Menurut KLH No. 54 Tahun 2004, batas minimum DO pada perairan pantai 5 mg/L (ppm). Merujuk kedua ketentuan tersebut, maka perairan pada stasiun pengamatan ini masih tergolong tercemar sedang dan dibawah baku mutu yang telah ditetapkan untuk kehidupan biota. Oksigen terlarut (DO) merupakan variabel kimia yang sangat dibutuhkan bagi biota sekaligus menjadi faktor pembatas bagi kehidupan biota (Wijayanti, 2007).

BOD₅ memiliki pengaruh yang sangat penting sebagai variabel kualitas perairan dan kelimpahan *Mollusca*. Lee (1978) dalam Setiawan (2013) menyatakan bahwa kategori kandungan BOD₅ > 15 mg/L tergolong

tercemar berat, BOD₅ antara 5,0 - 15 mg/L tergolong tercemar sedang, BOD₅ antara 3,0 - 4,9 mg/L tergolong tercemar ringan, dan BOD₅ < 3,0 mg/L tergolong tidak tercemar. Pada stasiun pengamatan ini merupakan wilayah yang tidak dihuni dan didominasi oleh lamun. Rerata hasil pengukuran BOD₅ pada stasiun ini sebesar 1,71 mg/L. Berdasarkan ketentuan dari Lee (1978) di atas, maka perairan pada stasiun ini dalam kondisi tidak tercemar. Hal ini memungkinkan *Mollusca* berkembang dengan optimum. Perkembangan optimum *Mollusca* berpengaruh pada tingkat kelimpahan dan distribusi *Mollusca* seperti yang dipaparkan sebelumnya. Kelimpahan dan distribusi *Mollusca* yang tinggi menentukan banyaknya spesies indikator atau bioindikator pada stasiun ini.

Rerata hasil pengukuran COD pada stasiun ini sebesar 4,71 mg/L. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.02/MENKLH/I/1998 menentukan batas yang diperbolehkan untuk baku mutu biota laut dan rekreasi harus di bawah 40 mg/L. Merujuk pada baku mutu tersebut, pada stasiun ini kualitas perairannya masih merupakan COD optimum untuk kehidupan *Mollusca*. Hal ini diduga faktor utama yang mengakibatkan tingginya kelimpahan dan distribusi *Mollusca* pada stasiun ini.

Faktor lain yang menentukan ada tidaknya *Mollusca* yang bisa dijadikan bioindikator yaitu suhu, pH, salinitas, dan senyawa polutan berupa Pb dan Cd. Rerata hasil pengukuran suhu pada stasiun II ini sebesar 27,40 °C, rerata pH sebesar 8,04, rerata salinitas sebesar 32,90⁰/₀₀, sedangkan kandungan Pb sebesar 003 mg/L dan Cd sebesar 0,001 mg/L. Rerata suhu, pH dan salinitas menunjukkan bahwa kisaran yang diukur merupakan kisaran optimum untuk perkembangan *Mollusca*. Kandungan Pb dan Cd pada stasiun ini masih dibawah ambang batas untuk kehidupan biota laut dan wisata bahari. Penelitian Arbi (2011) menunjukkan bahwa suhu dan salinitas berpengaruh terhadap kelimpahan dan distribusi *Mollusca*. *Mollusca* yang diperoleh dari hasil penelitiannya ini sebanyak 182 spesies terdiri dari kelas Gastropoda dan Bivalvia. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa tingginya kelimpahan *Mollusca* dipengaruhi oleh faktor fisika-kimia perairan. Kelimpahan dan distribusi berkorelasi positif dengan *Mollusca* yang bisa dijadikan bioindikator pencemaran air laut.

Penentuan spesies indikator ini tergantung dari kualitas perairan yang ditempatinya baik berupa DO, BOD, COD, salinitas, suhu, pH dan senyawa-senyawa polutan. Semakin bagus kualitas perairan, maka spesies yang bisa dijadikan indikator pencemaran semakin banyak dan memiliki nilai yang tinggi. Hal ini dikarenakan penentuan bioindikator didasarkan kelimpahan organisme (Muillot, 2001; De Caceres

et.al, 2009; 2010; 2012). Pada stasiun II, spesies yang dijadikan sebagai bioindikator kualitas perairan yang belum tercemar tersebut, yaitu *Morulla marginalba* dengan nilai indeks *Indicator Value* (IndVal) sebesar 70. Spesies ini sangat menyukai daerah yang memiliki kondisi fisika kimia perairan yang optimum bagi perkembangannya. Spesies *Morulla marginalba* memiliki kemampuan berpindah lebih cepat dari spesies lainnya baik dalam menghadapi predator maupun terhadap kondisi lingkungan yang tidak memadai (Fairweather, 1988).

Kemampuan spesies *Morulla marginalba* dalam berpindah diduga memiliki andil dijadikannya sebagai spesies indikator yang menandakan kualitas perairan yang belum tercemar berat. Kemampuannya sebagai spesies indikator tidak dipengaruhi oleh kandungan C organik dan kandungan oksigen rendah. Hal ini dikarenakan banyaknya sumber makanan untuk spesies ini yang berasal dari lamun. Penelitian lain yang mendukung temuan ini yaitu Ubrihien (2012) yang melakukan percobaan terhadap kemampuan spesies ini dalam merespon senyawa polutan. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa spesies ini cenderung menjauh dari senyawa polutan yang diberikan (dalam kasus ini diberikan senyawa polutan berupa logam berat).

Spesies lain yang menjadi indikator ekosistem pada stasiun ini yaitu spesies *Mitra aurantia*, *Cypraea annulus*, *Turbo bruneu*, *Trochus nilotocus* dan *Drupa grossularia*. Spesies ini diduga memiliki preferensi terhadap kondisi ekosistem yang masih belum tercemar dan ekosistem yang memberikan sumbangan sumber makanan berlimpah berupa ekosistem lamun yang terdapat pada stasiun ini.

Rerata hasil pengukuran kandungan *Dissolved Oxygen* (DO) pada stasiun III sebesar 2,39 mg/L. Menurut kriteria Lee (1978) dan KLH No. 54 Tahun 2004 seperti yang telah dijelaskan di atas, kondisi perairan pada stasiun ini tergolong tercemar sedang dan masih di bawah baku mutu perairan laut untuk kehidupan biota laut. Namun bila kita membandingkan dengan tingkat keanekaragaman (H') *Mollusca* yang cukup tinggi, persebaran *Mollusca* yang merata, dan tidak terjadinya dominansi spesies seperti yang sudah dibahas sebelumnya, kemungkinan kandungan oksigen terlarut tidak terlalu berpengaruh terhadap tingkat kelimpahan dan distribusi tersebut.

Faktor lain yang berpengaruh terhadap banyak sedikitnya spesies indikator pencemaran adalah BOD₅, COD, suhu, pH, salinitas dan pH. Rerata hasil pengukuran BOD₅ pada stasiun ini sebesar 1,61 mg/L. rerata hasil pengukuran COD sebesar 5,07 mg/L. rerata hasil pengukuran suhu sebesar 27,58 °C. Rerata hasil pengukuran pH sebesar 8,06. Rerata hasil pengukuran

salinitas sebesar 32,40⁰/₀₀. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, kisaran BOD merujuk pada Lee (1978) masih tergolong belum tercemar. Hal ini diduga memberikan andil masih tergolongnya tingkat kelimpahan dan distribusi *Mollusca* yang tinggi. Demikian juga dengan COD, suhu, pH dan salinitas, merupakan kisaran optimum untuk perkembangan *Mollusca*.

Faktor lain yang diduga memiliki andil dalam penentuan spesies-spesies bioindikator pencemaran ini yaitu senyawa polutan. Senyawa polutan yang diukur pada stasiun pengamatan ini berupa Pb sebesar 0,004 mg/L dan Cd sebesar 0,001 mg/L. Bila dibandingkan dengan stasiun-stasiun pengamatan yang lain, pada stasiun ini memiliki kandungan Pb yang lebih besar, demikian juga dengan kandungan Cd diukur pada stasiun ini. Pencemaran Pb dan Cd melebihi ambang batas dapat menyebabkan kematian biota laut (Setiawan, 2013). Berdasarkan ketentuan dari KLH No.54 Tahun 2004, ambang batas senyawa Pb harus di bawah 0,005 mg/L untuk wisata bahari dan 0,008 mg/L untuk kehidupan biota laut. Dari ketentuan tersebut, pada stasiun ini memiliki kandungan masih di bawah ambang batas yang telah ditetapkan. Namun, diduga pendedahan terus menerus terhadap *Mollusca* yang menghuni perairan tersebut dapat juga menyebabkan kematian. Dugaan kuat lainnya adalah adanya senyawa polutan lain yaitu hasil penggunaan sabun dan *sunblock* yang menghasilkan TBT. Penelitian oleh Ubrihien (2012) mengungkapkan bahwa paparan logam berat atau senyawa lain seperti TBT menyebabkan tekanan (stress) terhadap organisme yang menghuni wilayah tersebut yang berakibat pada ketidakseimbangan ekologis.

Proporsi kelimpahan dan distribusi *Mollusca* pada stasiun pengamatan III lebih rendah dibandingkan dengan stasiun pengamatan I dan II, demikian juga dengan spesies indikator pencemaran air yang ditemukan. Sedikitnya jumlah spesies indikator yang ditemukan pada stasiun ini diduga karena adanya pengaruh faktor fisika-kimia perairan serta adanya tekanan ekologis. Faktor fisika kimia yang diukur pada penelitian ini berupa DO, BOD₅, COD, suhu, pH, salinitas dan senyawa polutan.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa *Mollusca* yang dapat dijadikan bioindikator yang relatif sedikit dibandingkan dengan stasiun pengamatan I dan stasiun pengamatan II. Pada stasiun III, spesies yang dijadikan sebagai bioindikator yaitu *Littorinia pulchra*. Spesies ini memiliki nama lain *Littorinia littorea*. Spesies *Littorinia pulchra* banyak ditemukan pada zona littoral yang memungkinkan cahaya bisa tembus sampai ke dasar perairan bahkan sampai bathial (WoRMS, 2015). *Littorinia pulchra* umumnya dapat hidup pada kondisi

oksigen yang cukup, suhu yang bagus dan tidak ada tekanan dari air berupa ombak. Spesies *Littorina pulchra* diduga sebagai indikator kurangnya oksigen pada stasiun pengamatan ini. Dugaan lain dijadikannya spesies ini sebagai bioindikator karena kemampuan resisten terhadap senyawa-senyawa polutan yang telah diukur pada stasiun ini.

Spesies lain yang menjadi indikator perairan yaitu *Cerithium muscarum*. Spesies ini banyak ditemukan pada stasiun I dan II, namun memiliki nilai indeks indikator yang besar pada stasiun III. Spesies ini biasanya hidup pada kondisi perairan yang belum tercemar dan menyukai habitat pantai berlamun. Kemunculan spesies ini pada kondisi perairan yang tercemar ringan dilihat dari kondisi kimia perairan diduga memiliki resistensi terhadap perubahan yang terjadi. Spesies ini dapat dijadikan indikator dengan melihat kandungan DO yang rendah dan memiliki resistensi terhadap paparan senyawa polutan, namun dalam batas tertentu. Kemampuan memiliki resistensi yang tinggi terhadap perubahan fisika kimia perairan pada stasiun ini diduga munculnya spesies ini sebagai indikator pencemaran.

Keberadaan transportasi dan turis memang memberikan andil yang cukup besar terhadap kemelimpahan dan distribusi *Mollusca*. Transportasi dan aktivitas turis yang disertai dengan pembangunan sarana prasarana wisata bahari di sekitar pantai memungkinkan terjadinya tekanan ekologis terhadap *Mollusca*. Lalu lintas transportasi laut yang tinggi dan aktivitas dari masyarakat dan cat kapal atau perahu serta kemungkinan kebocoran minyak mengakibatkan tersuspensinya senyawa-senyawa polutan di perairan pesisir pantai Gili Trawangan.

Pada stasiun pengamatan III ini tidak ditemukan spesies yang berpotensi dijadikan bioindikator pencemaran. Hal ini diduga disamping faktor fisika perairan, faktor kimia perairan sangat menentukan ada tidaknya spesies indikator. Faktor kimia yang diukur pada stasiun pengamatan ini berupa DO, BOD, COD, dan senyawa polutan berupa Pb dan Cd (Tabel 3). DO pada stasiun pengamatan ini cukup rendah dibandingkan dengan stasiun pengamatan I dan II. Menurut Cancino *et. al.*, (2003), kandungan oksigen dalam air berhubungan dengan suhu dan salinitas. Markfort & Hondzo (2009) menambahkan kandungan oksigen tidak hanya tergantung dari suhu dan salinitas, akan tetapi ditentukan juga oleh tekanan parsial oksigen atmosfer. Secara ekologis, konsentrasi oksigen terlarut akan menurun apabila terjadi penambahan bahan organik. Hal ini disebabkan karena bahan organik tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang mengkonsumsi oksigen yang tersedia.

Kandungan logam berat Pb dan Cd memungkinkan tidak ditemukannya spesies *Mollusca* untuk indikator pencemaran air. Penelitian oleh Andersen (2004) yang menguji tingkat kejerahan (*prevalence*) atau sensitivitas terhadap senyawa organotin sebagai akibat dari hasil buangan transportasi laut yang mengakibatkan spesies ini menjadi *Mollusca* menjadi imposeks.

Penggunaan spesies *Mollusca* sebagai bioindikator pencemaran memang memerlukan penelitian yang lebih mendalam lagi. Hal ini dikarenakan setiap spesies memiliki toleransi yang berbeda-beda terhadap senyawa polusi tertentu. Namun hal ini dapat dilakukan dengan melihat pengaruh kegiatan manusia (*anthropogenic impact*) terhadap suatu spesies dengan melihat jumlah individu spesies, atau juga dengan melihat kemelimpahan spesies (Barnes, 2003; Terlizzi *et al.*, 2005).

Pengembangan Modul dalam Pembelajaran Matakuliah Ekologi Hewan

Modul merupakan sarana yang digunakan oleh mahasiswa dalam melaksanakan pembelajaran yang bersifat mandiri (*self instructional*). Modul yang berupa alat atau sarana pembelajaran tersebut berisi materi, metode, bahasan-bahasan, dan cara mengevaluasi yang dirancang secara sistematis dan menarik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan sesuai dengan tingkat kompleksitasnya. Secara ringkas modul adalah suatu paket pengajaran yang memuat satu unit konsep dari bahan pembelajaran dan disusun untuk membantu mahasiswa mencapai sejumlah tujuan pembelajaran yang telah dirumuskan secara khusus dan jelas. Sedangkan Russel dalam Setyosari (1990) modul adalah suatu unit (satuan) paket pembelajaran yang berkenaan dengan satuan konsep tunggal bahan pelajaran. Lebih lanjut lagi modul yang diartikan oleh *Associational Communication and Technology* (dalam Setyosari, 1990) adalah kumpulan pengalaman belajar yang dirancang untuk mencapai sekelompok tujuan khusus yang saling berkaitan, biasanya terdiri dari beberapa pertemuan.

Dari hasil penelitian eksploratif yang telah dilakukan, maka telah dilakukan penyusunan modul ekologi hewan dengan pokok bahasan populasi, komunitas dan bioindikator pencemaran air laut. Di dalam modul ekologi hewan ini juga dilengkapi dengan petunjuk praktikum ekologi hewan yang diharapkan akan memicu jiwa inkuiri mahasiswa.

Berdasarkan hasil validasi dari ahli materi, bahasa dan media maka modul ini sudah layak untuk digunakan dengan nilai validasi 90,53% untuk uji produk dari draft modul ini dilakukan uji kelompok kecil yang terdiri dari 22 orang mahasiswa jurusan pendidikan biologi di Institut Agama Islam Negeri (IAIN) Mataram diperoleh persentase skor antara 70-

86%. Setyosari (1991) menyatakan bahwa pengambilan keputusan revisi bahan ajar modul dilakukan jika tingkat pencapaian sebesar 61-80%. Tingkat pencapaian yang diperoleh dari ahli media adalah sebesar 76% yang berarti modul baik atau layak untuk digunakan dan tidak perlu dilakukan revisi.

Bahan ajar dalam bentuk modul ini mengangkat materi tentang populasi dan komunitas dengan tujuan umum pembelajaran yaitu mahasiswa mampu untuk 1) menguasai dan memahami pengertian dari populasi, karakteristik populasi dan hubungan populasi dengan ruang dan waktu; 2) menguasai dan memahami interaksi-interaksi populasi; 3) menguasai dan memahami pengertian dari komunitas, struktur penyusun komunitas dan memahami macam-macam komunitas; 4) menguasai dan memahami komunitas hewan sebagai bioindikator pencemaran air; 5) menganalisis spesies *Mollusca* yang dapat dijadikan sebagai bioindikator pencemaran air.

Di dalam modul ini juga ditekankan aspek-aspek yang ditekankan dalam KKKNI (Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia) yang ada dalam perguruan tinggi yang meliputi aspek pengetahuan intelektual, strategi kognitif, sikap dan keterampilan. Modul ini juga berisi pengorganisasian materi pembelajaran yang terdiri dari tiga tahapan proses yaitu pembentukan konsep, interpretasi konsep dan aplikasi prinsip pembelajaran. Penelitian oleh Ali *et al.* (2010) menyatakan bahwa dengan menggunakan modul dalam pembelajaran, maka mahasiswa diberikan keleluasaan dalam belajar sesuai dengan keinginan mereka sehingga dapat memotivasi diri mereka sendiri dalam belajar.

Tujuan pembelajaran yang telah ditetapkan sesuai kompetensi akan mudah dicapai oleh mahasiswa. Hal ini sesuai dengan penelitian Pimmell *et al.* (2000) menyatakan bahwa kemampuan mahasiswa berupa kemampuan menulis dan oral (komunikasi) dengan berbantuan modul dapat ditingkatkan. Kemampuan-kemampuan tersebut sesuai dengan tujuan dari kurikulum yang ada di Indonesia untuk perguruan tinggi. Penggunaan modul pada mahasiswa mengakibatkan pembelajaran menjadi efektif, mengubah konsepsi mahasiswa dan memberikan kemudahan bagi mahasiswa untuk belajar di dalam komunitas, waktu dan cara yang mereka sukai (Armstrong *et al.*, 1985).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa, 1). Monitoring terhadap perubahan ekosistem terutama ekosistem yang banyak dijadikan sebagai tujuan wisata bahari sangat perlu dilakukan dari waktu ke waktu; 2). Pelestarian terhadap biota laut, tidak hanya *Mollusca*

saja akan tetapi biota laut lainnya dengan cara tidak mencemari perairan dan aktivitas yang berlebihan yang dapat merusak lingkungan; 3). Modul sebagai bahan ajar yang sangat diperlukan pada seluruh jenjang pendidikan perlu dilakukan pengembangan dengan mengedepankan potensi daerah masing-masing sehingga pembelajaran kontekstual tercapai.

Daftar Pustaka

- Ali, R., Gazi, S.R., Khan, S.M., Hussain, S. & Faitma, Z.T. 2010. Effectiveness of Modular Teaching in Secondary School. *Asian Social Science*, Vol. 6 No. 9: 49-54.
- Arbi, U.Y. 2011. Komunitas Moluska di Padang Lamun Perairan Pulau Talise, Sulawesi Utara. *Jurnal Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 37(1): 71-89.
- Bandono. 2009. *Pengembangan Bahan Ajar*. (Online), (<http://bandono.web.id/2009/pengembangan-bahan-ajar>), diakses tanggal 10 Desember 2013.
- Barnes, R.S.K. 2003. Interaction Between Benthic Molluscs in a Sulawesi Mangal, Indonesia: the Cerithiid Mud-Creeper *Cerithium coralium* and Potamidid Mud-Whelks, *Tereblia spp.* *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, Vol. 83: 483-487.
- Besten, P.J.D. & Munawar, M. 2005. *Ecotoxicological Testing of Marine and Freshwater Ecosystems: Emerging Techniques, Trends, and Strategies*. United States: Taylor & Francis Group, LLC
- Borja, A., Alison Miles., Anna Occhipinti-Ambrogi., and Torsten Berg. 2009. Current Status Of Invertebrate Methods Used For Assessing The Quality Of European Marine Waters: Implementing The Water Framework Directive. *Hydrobiologia*, Vol. 633: 181-186
- Cancino, J.M., Gallardo, J.A. & Torres, F.A. 2003. Combined Effects of Dissolved Oxygen Concentration and Water Temperatur on Embryonic Development and Larval Shell Secretion in the Marine Snail *Chorus giganteus* (Gastropoda: Muricidae). *Marine Biology*, Vol. 142: 133-139
- Cinar, M.E., Katagan, T., Ozturk, B., Bakir, K., Dagli, E., Acik, S., Dogan, A. & Bitlis, B. 2012. Spatio-Temporal Distributions of Zoobenthos in Soft Substratum of Izmir Bay (Aegean Sea, Eastern Mediterranean), with Special Emphasis on Alien Species and Ecological quality Status. *Journal Of The Marine Biological Association Of The United Kingdom*, 92 (7): 1457-1477.
- Clarke, A.P., Mill, P.J. & Grahame, J. 2000. Biodiversity in Littorina Species (*Mollusca*: Gastropoda): A

- Physiological Approach Using Heat-Coma. *Marine Biology Journal*, (137): 559-565,
- De Meester, N., Derycke, S., Bonte, D. & Moens, T. 2011. Salinity Effects On The Coexistence Of Cryptic Species: A Case Study On Marine Nematodes. *Marine Biology Journal*, (158):2717-2726,
- Dharmawan, A., Ibrohim., Taurita, H., Suwono, H. & Susanto, P. 2005. *Ekologi Hewan*. Malang: Universitas Negeri Malang (UM Press)
- Duda, T.F., Kohn, J.A. & Palumbi, S.R. 2001. Origins of Diverse Feeding Ecologies Within *Conus*, a Genus of Venomous Marine Gastropods. *Biological Journal Of The Linnean Society*, 73: 391-409,
- Dufrene, M. & Legendre, P. 1997. Species Assemblages and Indicator Species: The Need For A Flexible Asymmetrical Approach. *Ecological monograph*, (Online), (67) (3): 345-366,
- Fairweather, P.G. 1988. Movements Of Intertidal Whelks (*Morula marginalba* And *Thais orbita*) In Relation To Availability of Prey and Shelter. *Marine Biology*, 100 (1): 63-68.
- Ferdaus, B.M.Y. 2006. *Imposex Cases in Snails (Thais spp.) In the West Coast of Peninsular Malaysia*. Tesis: Universiti Putra Malaysia, (http://psasir.upm.edu.my/5550/1/FS_2006_45.pdf), diakses tanggal 12 Januari 2015
- Hynes, H.B. 1978. *The Ecology of Running Water*. Toronto: University of Toronto
- Ibrohim. 1997. *Zonasi Komunitas Makrozoobentos di Perairan Pasang-Surut Pantai Bama, Taman Baluran-Jawa Timur*. Magister Sains (Biologi) ITB: Tesis tidak diterbitkan
- Insafitri. 2010. Keanekaragaman, Keseragaman, dan Dominansi Bivalvia Di Area Buangan Lumpur Lapindo Muara Sungai Porong. *Jurnal Kelautan*, Vol.3 No.1: 54-59
- Korte, T. 2010. *Current and Substrate Preferences of Benthic Invertebrates in the Rivers of the Hindu Kush-Himalayan*. *Hidrobiologia Journal*, (651) (1) : 77-91,
- Krebs, C.J. 1989. *Ecology Methodology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. New York: Harper and Row Publisher
- Liehr, G.A., M. L. Zettler., T. Leipe., G. Witt. 2005. The Ocean Quahog *Arctica Islandica* L.: A Bioindicator For Contaminated Sediments. *Marine Biology Journal*, (147):671-679,
- Markfort, C. & Hondzo, M. 2009. Dissolved Oxygen Measurements in Aquatic Environments: The Effects of Changing Temperatur and Pressure on Three Sensor Technologies. *Journal of Environment Quality*, (38) (4): 1766-1774,
- Murugan, A & Edward, P.J.K. 2000. Factors Threatening Biodiversity of Marine Mollusks in Tuticorin, Gulf of Mannar. *Journal Phuket Marine Biological Center Special Publication*, (21) (1): 159-162.
- Muttenhaler, M., Walton, H., Durtetre, S., Winger, Alewood, F.F., Lewis, R.J. & Aini, J.W. 2012. Abundance and diversity of *Conus* species (Gastropoda: Conidae) at the northern tip of New Ireland province of Papua New Guinea. *The Nautilus*, 126 (2): 47-56, (
- Nybakken, J.W. 1988. *Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis*. Jakarta: PT Gramedia.
- Oehlmann, J., Di Benedetto, P., Michaela Tillmann., Duft, M., Oetken, M. & Oehlmann, U.S. 2007. Endocrine Disruption in Prosobranch Molluscs: Evidence and Ecological Relevance. *Ecotoxicology*, (16): 29-43
- Pimmel, R., Karr, C. & Todd, B. 2000. Instructional Modules for Teaching Written, Oral and Graphical communication Skills to Engineering Students. *ASEE Southeast Section Conference*, (Online), (http://www.foundationcoalition.org/home/FC_Version2/Paper-Communication.pdf), Diakses 10 Januari 2015
- Pulgar, J., Alvares, M., Delgadillo, A., Herrera, I., Benitez, S., Morales, J.P., Molina, P., Aldana, M. & Pulgar, V.M. Impact Of Wave Exposure On Seasonal Morphological And [Reproductive Responses Of The Intertidal Limpet Fissurella Crassa \(Mollusca: Archæogastropoda\)](#). *Journal of the Marine Biological of the United Kingdom*, (92) (7): 1959-1601
- Robertson, D.M & Saad, D.A. 2003. Environmental Water-Quality Zones for Streams: a Regional Classification Scheme.) *Environmental Management*, (31) (5): 581-602,
- Rochyatun, E. 1999. Pengamatan Oksigen Kimiawi (COD) dan Oksigen Terlarut (DO) di Perairan Muara Sungai Bengawan Solo Dan Kali Porong. *Puslitbang-Oseonologi Jakarta*: 125-130
- Riniatsih, I & Kushartono, E.W. 2009. Substrat Dasar Dan Parameter Oseonografi Sebagai Penentu Keberadaan Gastropoda Dan Bivalvia Di Pantai Sluke Kabupaten Rembang. *Jurnal Ilmu Kelautan*, (14) (1): 50-59
- Setiawan. 2013. Keragaman Plankton dan Benthos di Perairan Mangrove sebagai Bioindikator Kualitas

- Perairan Pesisir. *Artikel*, (Online), (https://www.academia.edu/5621579/Diversity_of_plankton_and_macrobenthos_in_the_mangrove_as_bioindicator_of_coastal_water_quality), diakses tanggal 5 Januari 2015
- Setyosari & Efendi. 1990. *Pengajaran Modul*. Malang: Proyek Operasi dan Perawatan Fasilitas IKIP Malang
- Sirante, R. 2012. Studi Struktur Komunitas Gastropoda di Lingkungan Perairan Kawasan Mangrove Kelurahan Lappa dan Desa Tongke-Tongke, Kabupaten Sinjai. (Online), (<http://118.97.33.150/jurnal/files/...446.pdf>), diakses tanggal 29 Desember 2014
- Teso, V.S. & Penchaszadeh, P.E. 2009. Beach Filling and Imposex in *Olivancillaria deshayesiana* (Mollusca: Gastropoda: Olividae) From The Coast Of Mar del Plata, Argentina. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, (89) (3):557-562
- Ubrihien, R.P. 2012. Australian Intertidal Gastropods As Bioindicators of Metal Contamination. *Thesis University of Canberra*, (Online), (http://www.canberra.edu.au/researchrepositary/file/af0308ff-5069-d3e7-10f4-9b090d6aa170/1/full_text.pdf), Diakses tanggal 15 Juni 2014.
- WoRMS. 2015. World Register of Marine Species, (Online), (<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=140263>), Diakses 12 Januari 2015
- Zeybek, M., Kalyoncu, H. & Ertan, O.O. 2012. Species Composition and Distribution of Mollusca in Relation to Water Quality. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12: 719-727