

BAB II

TINJAUAN MENGENAI EKOSISTEM PERAIRAN AIR TAWAR, BIOINDIKATOR LINGKUNGAN DAN MAKROZOOBENTHOS

A. Ekosistem

Ekosistem merupakan organisme-organisme hidup (biotik) dan lingkungan tidak hidupnya (abiotik) berhubungan erat tak terpisahkan dan saling mempengaruhi satu sama lain. Satuan yang mencakup organisme (komunitas) di dalam suatu daerah yang saling mempengaruhi dengan lingkungan fisiknya sehingga arus energi mengarah ke struktur makanan, keanekaragaman biotik, dan daur-daur bahan yang jelas di dalam sistem (Odum, 1993, h.10). Menurut Tansley (1935) dalam Mulyadi (2010, hlm. 1) ekosistem adalah hubungan timbal balik antara komponen biotik (tumbuhan, hewan, manusia dan mikroba) dengan komponen abiotik (cahaya, udara, air, tanah, dsb) di alam, sebenarnya merupakan hubungan antara komponen yang membentuk suatu ekosistem. Ekosistem terbentuk oleh hubungan timbal balik atantara makhluk hidup dengan lingkungannya. Menurut pendapat lain ekosistem juga dapat diartikan sebagai unit utama dalam kajian ekologi yang merupakan suatu sistem dari fungsi organisme-organisme bersamaan dengan lingkungan hidupnya (Mulyadi, 2010, hlm.1).

B. Ekosistem Perairan Tawar

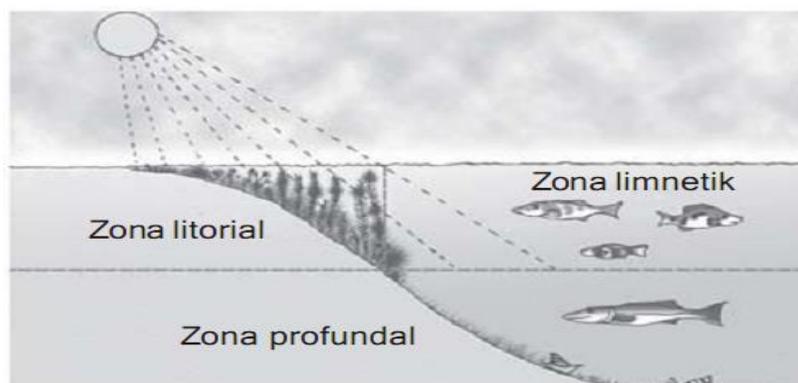
Secara umum Ekosistem perairan tawar dibagi menjadi dua, yaitu perairan mengalir (*lotic water*) dan perairan menggenang (*lentic water*). Perairan lotik adalah perairan yang dicirikan dengan adanya arus yang terus menerus dengan kecepatan bervariasi sehingga perpindahan massa air berlangsung terus-menerus, contohnya : sungai, kali, kanal, parit, dan lain-lain. Sedangkan Perairan menggenang disebut juga perairan tenang, yaitu perairan yang dimana aliran air lambat atau bahkan tidak ada dan massa air terakumulasi dalam periode waktu yang lama, contoh dari perairan tergenang adalah danau dan sungai. (Muhtadi&Cordova, 2016, hlm.7).

C. Danau

Danau merupakan perairan lentik yang berbentuk cekungan, yang menempati suatu daerah yang relatif memiliki luas lebih kecil dibandingkan dengan lautan dan daratan. Genangan air pada danau memiliki permukaan air yang lebih tinggi dari permukaan air laut. Danau terbentuk diakibatkan oleh proses kejadian alam yang sangat bervariasi, sehingga karakteristik danau berlainan sesuai dengan kejadiannya (Koosbandiah, 2014, hlm. 34&38).

Menurut Odum (1994) Berdasarkan kedalaman penetrasi cahaya matahari kedalam suatu perairan, Perairan danau dapat dibedakan berdasarkan beberapa zona perairan, yaitu:

1. Zona litoral merupakan daerah perairan dangkal pada danau, dimana penetrasi cahaya dapat mencapai hingga ke dasar perairan. Organisme yang menempati pada zona ini terdiri dari produsen yang merupakan tumbuhan, meliputi tanaman berakar (anggota spermatophyta) dan tanaman yang tidak berakar (fitoplankton, ganggang), sedangkan konsumennya meliputi beberapa larva serangga air, *rotifera*, *moluska*, ikan, penyu, zooplankton dan lain sebagainya.
2. Zona limnetik merupakan daerah perairan terbuka sampai pada kedalaman penetrasi cahaya yang efektif, sehingga daerah ini efektif untuk proses fotosintesis. Organisme yang hidup pada zona ini terdiri dari produser yang meliputi fitoplankton dan tumbuhan air yang terapung-apung bebas, sedangkan organisme konsumennya meliputi zooplankton dari *copepoda*, *rotifera* dan beberapa jenis ikan.
3. Zona profundal merupakan daerah dasar dari perairan danau yang dalam, dimana pada daerah ini tidak dapat lagi dicapai oleh penetrasi cahaya efektif. Sebagai organisme utama yang hidup pada zona ini adalah konsumen yang meliputi jenis cacing darah dan kerang-kerang kecil.



Gambar 2.1
Zonasi Perairan Danau
 (Sumber: Odum, 1994)

Berdasarkan tingkat kesuburannya, Perairan danau dapat diklasifikasikan menjadi empat kriteria (Effendi, 2003, hlm. 37-38) yaitu :

- a) Oligotrofik (miskin unsur hara dan produktivitas rendah), yaitu perairan dengan produktivitas primer dan biomassa yang rendah. Perairan ini memiliki kadar unsur hara nitrogen dan fosfor rendah, namun cenderung jenuh dengan oksigen.
- b) Mesotrofik (unsur hara dan produktivitas sedang), yaitu perairan dengan produktivitas primer dan biomassa sedang. Perairan ini merupakan peralihan antara oligotrofik dan eutrofik.
- c) Eutrofik (kaya unsur hara dan produktivitas tinggi), yaitu perairan dengan kadar unsur hara dan tingkat produktivitas primer tinggi. Perairan ini memiliki tingkat kecerahan yang rendah dan kadar oksigen pada lapisan *hipolimnion* dapat lebih kecil dari 1 mg/l.
- d) Distrofik, yaitu perairan yang banyak mengandung bahan organik misalnya asam humus dan *fulvic*.

Kadar fosfor, nitrogen dan beberapa parameter kualitas air dapat dijadikan indikator untuk keperluan klasifikasi kesuburan suatu perairan. (seperti pada tabel 2.1 dan 2.2 dibawah ini)

Tabel 2.1 Tingkat Kesuburan Danau dan Waduk Berdasarkan Kadar Beberapa Parameter Kualitas Air

No	Parameter	Klasifikasi Kesuburan		
		Oligotrofik	Mesotrofik	Eutrofik
1.	Fosfor total (mg/l)	< 10	10 - 20	> 20
2.	Nitrogen total (mg/l)	< 200	200 - 500	> 500
3.	Klorofil	< 4	4 - 10	>10
4.	Kecerahan <i>secchi disk</i> (m)	>4	2 - 4	< 2
5.	Presentase kadar Oksigen saturasi pada lapisan hipolimnion	>80	10 - 80	< 10
6.	Produksi fitoplankton	7 - 25	75 - 250	350 - 700

(Effendi, 2003, hlm. 39)

Adapun perbedaan karakteristik danau oligotrofik dan eutrofik, dapat dilihat pada tabel 2.2 sebagai berikut.

Tabel 2.2 Karakteristik Danau Oligotrofik dan Eutrofik

No	Oligotrofik	Eutrofik
1.	Dalam dan memiliki tepi curam.	Dangkal dan memiliki zona litoral luas.
2.	E/H kecil.	E/H besar.
3.	Kecerahan tinggi, air berwarna kebiruan atau kehijauan.	Kecerahan rendah, air berwarna kehijauan hingga kuning atau kecoklatan.
4.	Kadar kalsium rendah.	Kadar kalsium tinggi.
5.	Kadar bahan organik pada sedimen dasar sedikit.	Pada zona profundal terdapat bahan organik <i>copropel</i> .
6.	Oksigen ditemukan padaseluruh lapisan air.	Terjadi stratifikasi vertikal oksigen pada musim panas.
7.	Tumbuhan air pada zona litoral sedikit.	Tumbuhan air pada zona litoral melimpah.
8.	Kelimpahan fitoplankton rendah.	Kelimpahan fitoplankton tinggi.
9.	Jarang terjadi <i>blooming blue green algae</i> .	Sering terjadi <i>blooming blue green algae</i> .
10.	Kelimpahan bentos pada zona profundal sedikit.	Biomassa bentos pada zona profundal melimpah.
11.	Pada bagian dasar tak ditemukan <i>Chaoborus</i> dan <i>Tanytarsus</i> .	Pada bagian dasar ditemukan bentos <i>Chironomus</i> dan <i>Chaoborus</i>
12.	Ditemukan jenis ikan <i>salmonid</i> dan <i>coregonid</i> .	Pada zona hipolimnion tidak ditemukan jenis ikan <i>stenothermal</i>

(Effendi, 2003, hlm.42)

D. Parameter Kualitas Air

Air merupakan senyawa kimia yang sangat penting bagi kehidupan seluruh makhluk hidup. Sebagian besar kegiatan yang dilakukan manusia dan makhluk hidup lainnya membutuhkan air, mulai dari membersihkan diri, menyiapkan makan dan minuman, hingga proses hidrolisa air untuk fotosintesis, semuanya membutuhkan kehadiran air. Fungsi air bagi kehidupan tidak akan tergantikan oleh senyawa lainnya (Koosbandiah, 2014, hlm. 2). Menurut Peraturan Pemerintah No. 20 tahun 1990, air digolongkan menurut peruntukaannya menjadi 3 golongan, sebagai berikut :

- 1) Golongan A, yaitu air yang dapat digunakan sebagai air minum secara langsung , tanpa pengolahan terlebih dahulu.
- 2) Golongan B, yaitu air yang dapat digunakan sebagai air baku air minum.
- 3) Golongan C, yaitu air yang dapat digunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan.
- 4) Golongan D, yaitu air yang dapat digunakan untuk keperluan pertanian, usaha di perkotaan, industri, dan pembangkit listrik tenaga air.

Ada beberapa parameter yang dapat digunakan untuk menentukan suatu kualitas perairan, yaitu Parameter Fisika dan parameter kimia.

a. Parameter Fisik Air

1) Suhu

Suhu sangat berperan aktif dalam mengendalikan kondisi ekosistem perairan, karena setiap organisme akuatik memiliki kisaran suhu tertentu (batas atas dan batas bawah) yang disukai bagi pertumbuhannya. Peningkatan suhu mengakibatkan peningkatan viskositas, reaksi kimia, evaporasi, dan volatilisasi. Peningkatan suhu juga menyebabkan penurunan kelarutan gas (O_2 , CO_2 , N_2 , CH_4) dalam air. Peningkatan suhu juga menyebabkan peningkatan kecepatan metabolisme dan organisme air yang selanjutnya akan mengakibatkan peningkatan konsumsi oksigen. Peningkatan suhu ini akan disertai dengan penurunan kadar oksigen terlarut sehingga keberadaan oksigen

sering kali tidak mampu memenuhi kebutuhan oksigen bagi organisme akuatik untuk melakukan proses metabolisme dan respirasi (Effendi, 2003, hlm.57).

2) Cahaya

Menurut Cole (1998) cahaya yang mencapai permukaan bumi dan perairan terdiri atas cahaya yang langsung (*direct*) berasal dari matahari dan cahaya yang disebarkan (*diffuse*) oleh awan. Sedangkan Menurut Jeffries dan Mills (1996) Cahaya yang mencapai perairan akan diubah menjadi energi panas. Air memiliki sifat pemanasan yang khas karena memiliki kapasitas panas spesifik yang tinggi, ini berarti energi(cahaya) yang dibutuhkan untuk meningkatkan suhu air sebesar 1⁰ C lebih besar dari energi yang dibutuhkan untuk meningkatkan suhu materi lain sebesar 1⁰ C. Demikian pula halnya dengan proses penurunan suhu air. Oleh karena itu perairan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menaikkan dan menurunkan suhu, jika dibandingkan dengan daratan. Intensitas cahaya sangat berpengaruh terhadap kedalaman suatu perairan, karena intensitas cahaya yang masuk ke dalam kolom air semakin berkurang dengan bertambahnya kedalaman perairan. Dengan kata lain, cahaya mengalami penghilangan (*extinction*) atau pengurangan (atenuasi) yang semakin besar dengan bertambahnya kedalaman (Effendi, 2003, hlm.53)

b. Parameter Kimia Air

1) pH

pH merupakan faktor pembatas bagi organisme yang hidup di suatu perairan. Derajat keasaman atau pH air menunjukkan aktivitas ion hidrogen dalam suatu perairan. Nilai pH pada banyak perairan alami berkisar antara 4 sampai 9. Perubahan pH air bergantung pada polutan air, air yang memiliki pH lebih kecil atau lebih besar dari kisaran normal maka akan mempengaruhi kehidupan jasad renik (Merliyana, 2017).

2) DO (*Dissolved Oxygen*)

Derajat oksigen merupakan jumlah oksigen terlarut dalam air dengan satuan mg/L. Menurut Koosbandiah (2014, hlm.12) Oksigen terlarut dapat mengindikasikan adanya oksigen dalam air yang dibutuhkan oleh seluruh makhluk hidup, untuk pernafasan, proses metabolisme dan pertukaran zat yang

kemudian menghasilkan energi untuk proses pertumbuhan dan pembiakan. Jumlah kandungan oksigen di dalam air dipengaruhi oleh suhu, salinitas dan tekanan. Oksigen memerankan peranan penting sebagai indikator kualitas perairan, karena oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik(Koosbandiah, 2014, hlm. 12),

E. Bioindikator Lingkungan

1. Ciri Bioindikator Lingkungan

Bioindikator didefinisikan sebagai penggunaan suatu organisme baik sebagai bagian dari individu atau suatu kelompok organisme untuk mendapatkan informasi terhadap kualitas seluruh atau sebagian dari lingkungannya.

Menurut Rosenberg dan Wiens, 1976: Hellawel (1986) karakteristik ideal dari jenis organisme indikator harus memiliki karakteristik sebagai berikut(Rosenberg dan Resh, 1993, hlm. 41):

- a) Mudah diidentifikasi,
- b) Tersebar secara kosmopolit,
- c) Kelimpahan dapat dihitung,
- d) Variabilitas ekologi dan genetik rendah,
- e) Ukuran tubuh relatif besar,
- f) Mobilitas terbatas dan masa hidup relatif lama,
- g) Cocok untuk digunakan dalam studi laboratorium, Karakteristik ekologi diketahui dengan baik.

2. Makrozoobenthos sebagai Bioindikator Lingkungan

Hewan makrozoobenthos memiliki berbagai peranan penting dalam perairan, diantaranya: sebagai bagian penting dalam sistem jaring-jaring makanan ekosistem perairan, memiliki peranan penting dalam memperbaiki struktur sedimen melalui aktivitas menggali lubang, mengebor, biotrubasi, eksresi, dll, sebagai bagian penting dalam menentukan kualitas perairan atau bioindikator, melalui kehadiran/ketidakhadiran, perbandingan jumlah kepadatan antar jenis/kelompok makrozoobenthos antar ruang dan waktu, dan dominansi taksa tertentu (Purnomo, 2014, hlm. 2).

Menurut Lind dalam Purnomo (2014) makrobenthos merupakan organisme yang hidup pada lumpur, pasir, batu, kerikil maupun sampah organik baik di dasar perairan laut, danau, kolam, ataupun sungai, merupakan hewan melata, menetap, menempel, memendam, dan meliang di dasar perairan. Sedangkan menurut Asra (2009) makrozoobenthos merupakan organisme yang seluruh atau sebagian dari hidupnya hidup di dasar perairan, memiliki habitat hidup yang relatif menetap. Makrozoobenthos adalah organisme yang hidup di dasar perairan dan tersaring oleh saringan yang berukuran mata saring 1,0x1,0 milimeter yang pada pertumbuhan dewasanya berukuran 3-5 milimeter (Purnomo, 2014, hlm. 2).

Menurut Purnomo (2014, hlm. 3) berdasarkan letaknya makrozoobenthos dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

1. Makrobenthik infauana, adalah kelompok makrozoobenthos yang hidup dengan membenamkan diri dibawah lumpur atau sedimen, dengan membuat lubang (*burrowers*), ataupun membuat tabung (*tube builders*).
2. Makrobenthik epifauna, adalah kelompok makrozoobenthos yang hidup di permukaan substrat , baik sebagai pemakan deposit maupun sebagai pemakan materi organik terlarut.

Berdasarkan ukuran dan kategorinya hewan ini dikelompokan oleh Gray dan Elliot (2009) dalam Priosambodo (2011, hlm. 10) sebagai berikut:

“Makrozoobentos terbagi menjadi beberapa kelompok (kategori) berdasarkan ukuran mata saringan yang digunakan untuk menyaring organisme tersebut, yaitu: mikrofauna (< 63 μm), meiofauna (63 - 500 μm), makrofauna (500 μm - 5 cm) dan megafauna (>5 cm). Sedangkan berdasarkan kategori taksanya makrozoobenthos dibedakan menjadi mikrofauna (Ciliata, Rotifera dan Sarcodina), meiofauna (Nematoda, Oligocaheta, Gastrotricha), makrofauna (Polychaeta, Amphipoda, Bivalvia) dan megafauna (Echinodermata, Decapoda).”

Menurut Whilm dalam Elferianto (2015) makrozoobenthos dapat dijadikan sebagai bioindikator perairan, karena memiliki sifat yang sangat peka terhadap perubahan lingkungan perairan yang ditempatinya (Elferianto & Sari, 2015). Menurut Wilhm (1975) dalam Magrima (2012, hlm. 5) kelompok spesies makrozoobenthos berdasarkan kepekaan terhadap perubahan lingkungan perairan yaitu:

- a. Kelompok intoleran ialah organisme yang dapat tumbuh atau berkembang dalam kisaran kondisi lingkungan yang sempit dan jarang dijumpai di perairan yang kaya bahan organik. Organisme ini tidak dapat beradaptasi pada kondisi perairan yang mengalami penurunan kualitas. Contohnya beberapa famili dari Ordo Ephemeroptera, Ordo Tricoptera, dan Ordo Plecoptera.
 - b. Kelompok fakultatif yaitu organisme yang dapat bertahan hidup pada kisaran kondisi lingkungan yang lebih besar dibandingkan organisme intoleran, namun tidak dapat mentolerir kondisi lingkungan yang tercemar berat. Contohnya dari Ordo Odonata, Kelas gastropoda, dan Filum Crustacea.
 - c. Kelompok toleran yaitu organisme yang dapat berkembang pada kisaran kondisi lingkungan yang luas, sering ditemukan pada perairan yang tercemar dan tidak peka terhadap tekanan lingkungan. Contohnya cacing dari famili Tubificidae.
- Menurut Magrima (2012) Kelompok – kelompok dalam struktur komunitas dapat menunjukkan kondisi perairan berdasarkan derajat pencemaran, yang disajikan pada Tabel 2.3, dan beberapa spesies yang termasuk golongan intolerant, fakultatif, dan toleran dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.3

Struktur komunitas makrozoobenthos pada kondisi perairan tertentu (The Georgia Water Quality Control Board 1971 dalam Wilhm 1975)

Jenis Perairan	Struktur Komunitas
Bersih	Komunitas makrozoobenthos yang seimbang dengan beberapa populasi intoleran diselingi populasi fakultatif tanpa ada satu spesies yang mendominasi.
Tercemar Sedang	Penghilangan atau pengurangan banyak spesies intoleran dan berbagai fauna dari fakultatif dengan satu atau dua spesies dari kelompok toleran akan mendominasi.
Tercemar	Komunitas makrozoobenthos dengan jumlah spesies terbatas, diikuti dengan penghilangan kelompok intoleran dan fakultatif.
Tercemar Berat	Penghilangan hampir seluruh makrozoobenthos kecuali cacing Oligochaeta atau organisme yang dapat bernafas melalui udara atau kemungkinan menghilangnya seluruh kehidupan.

Tabel 2.4 Makrozoobenthos Berdasarkan Kepekaannya Terhadap bahan pencemar (Gaufin 1958 in Wilhm 1975)

Status	Jenis Makrozoobenthos
Intoleran	<i>Ephemera simulans</i> (lalat sehari), <i>Acroneuria evoluta</i> (lalat batu), <i>Chimarra obscura</i> , <i>Mesovelgia sp.</i> (kepik), <i>Helichus lithophilus</i> (kumbang), <i>Anpcheles punctiennis</i> (nyamuk)
Fakultatif	<i>Stenonema heterotarsale</i> (lalat sehari), <i>Taeniopteryx maura</i> (lalat batu), <i>Hydropsyche bronta</i> , <i>Agrion maculatum</i> , <i>Corydalus cornutus</i> (lalat), <i>Agabus stagninus</i> (kumbang), <i>Chironomus decorus</i> , <i>Helodrilus chlorotica</i> (cacing oligochaeta)
Toleran	<i>Chironomus riparum</i> (sejenis nyamuk), <i>Limnodrilus sp.</i> dan <i>Tubifex sp.</i> <i>Chironomus riparum</i> (sejenis nyamuk), <i>Limnodrilus sp.</i> dan <i>Tubifex sp.</i> (cacing oligochaeta)

Menurut Sistem Dewan Pemantauan Air Nasional, pencemaran organik di perairan tawar dapat diidentifikasi berdasarkan keberadaan *family* dari makrozoobenthos yang berada pada suatu perairan tertentu. Semakin rendah skor yang didapat, berarti menunjukkan semakin tercemar daerah perairan tersebut (Moss 1988 dalam Chapman & Reiss, 1993, hlm. 162). Skor tersebut dapat diperoleh jika ditemukan *family* berdasarkan Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Nilai Mutu Pencemaran Organik Perairan Tawar

Kategori dan Famili yang ditemukan		Score
a.	<i>Siphonuridae</i> , <i>Heptageniidae</i> , <i>Leptophlebiidae</i> , <i>Ephemereliidae</i> , <i>Pothamanthidae</i> , <i>Ephemeridae</i> (mayflies)	10
b.	<i>Taeniopterygidae</i> , <i>Leucritidae</i> , <i>Capniidae</i> , <i>Perlodidae</i> , <i>Perlidae</i> , <i>Chloroperlidae</i> (Stoneflies)	
c.	<i>Aphelocheoridae</i> (beetles)	
d.	<i>Phryganeidae</i> , <i>Molannidae</i> , <i>Beraeidae</i> , <i>Odontoceridae</i> , <i>Letpoceridae</i> , <i>Goeridae</i> , <i>Lepidostomatidae</i> , <i>Brachycentridae</i> , <i>Sericostomatidae</i> (caddisflies)	
a.	<i>Astacidae</i> (crayfish)	8
b.	<i>Lestidae</i> , <i>Agriidae</i> , <i>Gomphidae</i> , <i>Cordulegasteridae</i> , <i>Aeshinadae</i> , <i>Corduliidae</i> , <i>Libellulidae</i> (Capung)	
c.	<i>Psychomyiidae</i> , <i>Philopotamidae</i> (net-spinning caddis-flies)	
a.	<i>Caenidae</i> (mayflies)	7
b.	<i>Nemouridae</i> (Stoneflies)	
c.	<i>Rhyacophilidae</i> , <i>Polycentropodidae</i> , <i>Limnephilidae</i> (net-spinning caddis-flies)	
a.	<i>Neritidae</i> , <i>Viviparidae</i> , <i>Ancylidae</i> (Siput)	

Kategori dan Famili yang ditemukan		Score
b.	<i>Hydroptilidae (caddis-flies)</i>	6
c.	<i>Unionidae (bivalvia, mollusca)</i>	
d.	<i>Corophiidae, gammaridae (crustacea)</i>	
e.	<i>Platycnemididae, Coenagriidae (Capung)</i>	
a.	<i>Mesovelidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae, Notonectidae, Pleidae, Corixidae (bugs)</i>	5
b.	<i>Haliplidae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Gyrinidae, Hydrophilidae, Clambidae, Helodidae, Dryopidae, Elminthidae, Crysomelidae, Curculionidae (Kumbang)</i>	
c.	<i>Hydropsychidae (caddis-flies)</i>	
d.	<i>Tipulidae, Simuliidae (dipteran-flies)</i>	
e.	<i>Tipulidae, Simuliidae (dipteran-flies)</i>	
f.	<i>Planariidae, Dendrocoelidae (triclads)</i>	
a.	<i>Baetidae (mayflies)</i>	4
b.	<i>Sialidae (alderfly)</i>	
c.	<i>Piscicolidae (Lintah)</i>	
a.	<i>Valvatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Sphaeriidae (siput, bivalvia)</i>	3
b.	<i>Glossophoniidae, Hirudidae, Erpobdellidae (lintah)</i>	
c.	<i>Asellidae (crustacea)</i>	
a.	<i>Chinomidae (Diptera)</i>	2
a.	<i>Oligochaeta (whole class) (cacing)</i>	1

Dalam sistem ini skor dialokasikan menurut ada atau tidaknya makrozoobenthos dalam sistem perairan. Keuntungan dengan menggunakan indeks biologi seperti ini adalah dengan memberikan ukuran polusi organik dalam air selama periode waktu yang cukup lama. Karena jika sebuah polutan masuk kedalam air dalam waktu dekat mungkin tidak akan terdeteksi langsung oleh analisis kimia, lain halnya dengan keberadaan makrozoobenthos hal ini akan membunuh suatu famili indikator utama yang masih bisa bertahan beberapa bulan (Chapman & Reiss, 1993, hlm. 161). *Oligochaetes* dan *Chironomids* ditemukan pada perairan yang sangat tercemar dengan tingkat derajat oksigen yang rendah. Di sisi lain sebagian besar capung dan lalat batu hanya ditemukan pada perairan dengan tingkat oksigen terlarut yang tinggi.

Menurut Koosbandiah (2014, hlm. 70) setiap benthos dapat mencirikan keadaan kualitas suatu perairan, beliau menyatakan bahwa:

“ Bila dalam suatu perairan terdapat *Limnidrilus hoffmeisteri*, jika berada dalam jumlah banyak maka dapat dijadikan indikator adanya polusi air. Sedangkan adanya Hexagenia, mayfly, dan planaria merupakan indikasi untuk perairan dengan kandungan oksigen tinggi. Tubificidae ditemukan dominan di daerah yang sudah mengalami pencemaran berat oleh limbah kosmetik. Hirudinae, merupakan hewan lintah yang keberadaannya dapat mengindikasikan pencemaran air. Hewan Dinadubia, Erpobdella punctata, Helobdella stagnalis sudah diketahui dapat mengakumulasi bahan organik chlorophenols, lindane dan sejenisnya. Mereka dapat bertahan hidup, bahkan dapat melakukan degradasi bahan kimia organik.”

3. Macam-macam Makrozoobenthos

Organisme Makrozoobenthos terdiri dari Mollusca, Crustacea, Insecta dan Oligochaeta. Mollusca yang banyak ditemukan di ekosistem perairan tawar adalah gastropoda. Crustaceae merupakan kelas dari Arthropoda yang hidupnya terutama menempati perairan baik air tawar maupun laut (Rusyana, 2013, hlm. 142). Beberapa kelompok hewan makrozoobenthos yaitu:

a. Mollusca

Mollusca adalah kelompok hewan invertebrata yang bertubuh lunak, sebagian besar mollusca menyekresikan cangkang pelindung keras yang terbuat dari kalsium karbonat (Campbell & Reece, 2012, hlm. 250) walaupun sebagian ada yang tanpa cangkang. Golongan hewan ini dapat kita temukan pada dasar perairan tawar, menempel pada substrat atau seringkali juga banyak ditemukan terapung pada perairan

Menurut Campbell & Reece (2012, hlm. 250) Mollusca adalah hewan selomata, memiliki struktur tubuh sebagai berikut:

“Tubuhnya memiliki tiga bagian utama: kaki (*foot*) yang berotot, biasanya digunakan untuk bergerak, massa viseral (*visceral mass*) yang terdiri dari sebagian besar organ internal dan mantel (*mantle*), lipatan jaringan yang membungkus massa viseral dan menyekresikan cangkang (jika ada)”

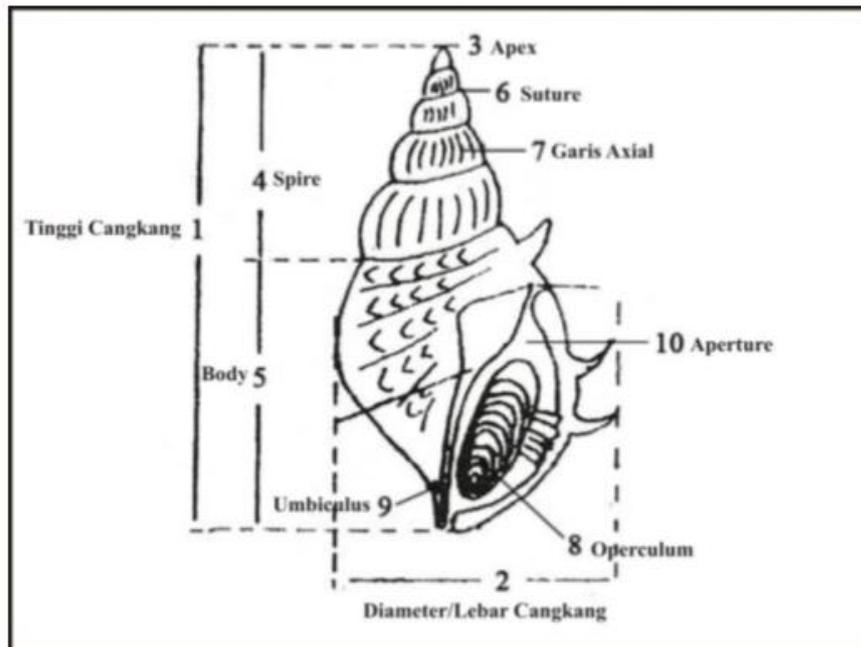
Menurut Rusyana (2011, hlm. 87) insang dan organ respirasi seperti halnya paru-paru pada siput merupakan hasil perkembangan dari mantel. Bagian mantel

pada Gastropoda dan Scaphopoda digunakan untuk respirasi. Sedangkan pada Cephalopoda otot-otot mantel digunakan untuk gerakan, mekanik dan respirasi.

Setelah itu untuk fisiologi pada mollusca memiliki alat pencernaan sempurna mulai dari mulut yang memiliki radula (lidah parut) sampai dengan anus terbuka di daerah rongga mantel dan disertai kelenjar pencernaan yang sudah berkembang dengan baik. Untuk sistem peredaran darahnya yaitu peredaran darah terbuka kecuali pada Cephalopoda. Sedangkan untuk pernafasannya molusca menggunakan insang atau “paru-paru”, mantel atau bagian epidermis. Alat ekskresi berupa ginjal. Sistem saraf atas tiga pasang ganglion yaitu ganglion cerebral, ganglion visceral dan ganglion pedal yang ketiganya dihubungkan oleh tali-tali saraf longitudinal (Rusyana, 2011, hlm. 87)

1) Gastropoda

Gastropoda merupakan grup terbesar dari Mollusca. Lebih dari 8000 spesies telah ternamai dan 2000 spesies fosil yang ditemukan. Gastropoda terus berkembang selama lebih dari 550 juta tahun dan mampu beradaptasi pada berbagai habitat seperti air laut, air tawar, dan darat. Gastropoda memakan berbagai macam jenis hewan dan tumbuhan seperti, rumput laut, fungi, plankton, ikan, invertebrata lain dan bahkan sesamanya (Kozloff, 1990, hlm. 384). Gastropoda mempunyai bentuk tubuh bilateral simetri sesuai dengan bentuk cangkang. cangkang (rumah) dari gastropoda berbentuk terpilin atau *spiral*. Namun ada pula Gastropoda yang tidak memiliki cangkang, sehingga sering disebut siput telanjang (*vaginula*). Contoh dari hewan Gastropoda ini adalah siput dan keong (Rusyana, 2011, hlm.90). Gastropoda biasanya memiliki cangkang yang bergelung, namun ada juga yang memiliki cangkang seperti topi atau berbentuk kerucut. Beberapa Gastropoda ada yang memiliki cangkang yang mirip dengan bivalvia, seperti kerang. Walaupun mudah retak dan tipis, cangkang memberikan perlindungan dari predator, dan stress mekanik (Kozloff, 1990, hlm. 384).



Gambar 2.2 Struktur Tubuh Gastopoda

(Sumber: Oemarjati & Wardhana dalam Dermawan, dalam Wibowo, 2016, hlm.23)

Struktur tubuhnya bercangkang (*concha*), kebanyakan berputar ke arah kanan (dekstral) tetapi ada juga yang berputar ke kiri (sinistral). Putaran ini berasal dari apeks melalui *whorl* sampai *aperture*. Bagian tengah yang merupakan sumbu putaran disebut kolumella. Kolumella ini tidak bisa terlihat dari luar (Rusyana, 2011, hlm. 91).

Alat gerak pada Gastropoda adalah kaki. Pada saat Gastropoda sedang aktif bergerak, permukaan bawah kakinya menjadi bergelombang dengan amplitudo kecil dikarenakan adanya aktivitas otot-otot dalam dindingnya (Rusyana, 2011, hlm. 95). Menurut Kozloff (1990, hlm. 389) kaki Gastropoda mempunyai *cillia* (bulu) dan mengandung kelenjar yang mensekresi lendir. Kelenjar Pedal adalah kelenjar lendir yang sangat penting yang terletak di bagian depan kaki. Pergerakan Gastropoda dipengaruhi oleh gelombang kontraksi otot yang menjalar sepanjang telapak kaki. Gelombang ini dapat berupa gelombang transversal atau diagonal terhadap sumbu panjang kaki.

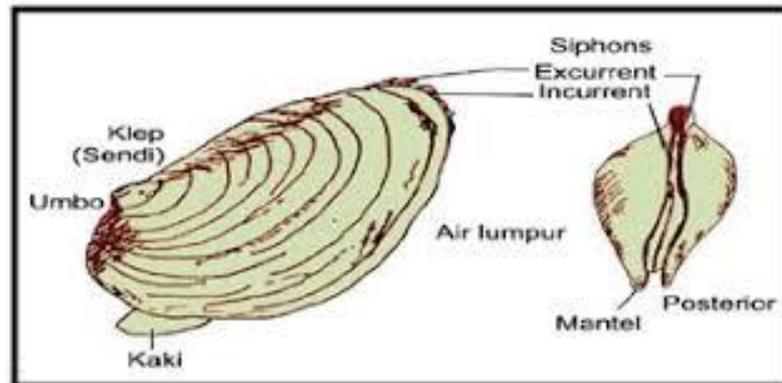
Menurut Rusyana (2011, hlm. 90) ada 2 tipe pernafasan pada Gastropoda, hal ini berdasarkan dari habitat hidupnya. Gastropoda yang hidup di darat bernafas

menggunakan paru-paru sedangkan Gastropoda yang hidup di air, bernafas dengan insang.

Makanan Gastropoda berupa tumbuh-tumbuhan, yang dipotong-potong oleh rahang zat tanduk (mandibula), kemudian akan dikunyah oleh radula. Zat-zat makanan akan diserap didalam intestin (Rusyana, 2011, hlm. 92). Sedangkan menurut pendapat Kozloff (1990, hlm. 389) Terdapat satu atau dua pasang kelenjar air liur yang bermuara ke rongga Buccal. Kelenjar ini berfungsi dalam ekskresi lendir yang melubrikasikan makanan dan mengeratkan partikel makanan hingga dapat diproses secara efektif. Dalam beberapa Gastropoda karnivor, kelenjar liurnya memproduksi enzyme proteolytic. Bagian esophagus, yang terletak setelah rongga Buccal tidak selalu memiliki kelenjar. Saat ada kelenjar, sebagian besar hanya dalam bentuk kantung. Dalam Gastropoda yang menggunakan venom untuk melemahkan mangsanya, sekresi diproduksi oleh kelenjar esophagus yang berbentuk kantung seperti ini. Di banyak opisthobranchs dan pulmonates, bagian esophagus membesar dan berfungsi sebagai tembolok yang dapat menampung makanan yang banyak, dan pada berbagai opisthobranchs, bagian ini juga mempunyai otot dan mengandung lempengan keras yang dapat merusak dan menumbuk makanan (Kozloff, 1990, hlm.389).

2) Pelecypoda

Kelas ini meliputi remis, tiran dan bangsa kepah lainnya. Habitatnya di air tawar dan di air laut. Beberapa jenis dari spesies pada kelas ini membenamkan diri di pasir atau lumpur, ada juga yang bergerak pelan atau menempel pada objek tertentu. Salah satu contoh spesies dari kelas Pelecypoda adalah *Anandota woodiana*. Ciri-ciri morfologinya adalah memiliki 2 bagian cangkang yang disatukan oleh sendi elastis yang disebut *hinge* (terletak di permukaan dorsal. Terdapat bagian cangkang yang membesar atau menggelembung dekat dengan sendi umbo (bagian cangkang yang umurnya paling tua). Di sekitar umbo terdapat garis konsentris yang menunjukkan garis interval pertumbuhan, dimana terdapat sel epitel bagian luar mantel yang menghasilkan zat pembuat cangkang (Rusyana, 2011, hlm.100).



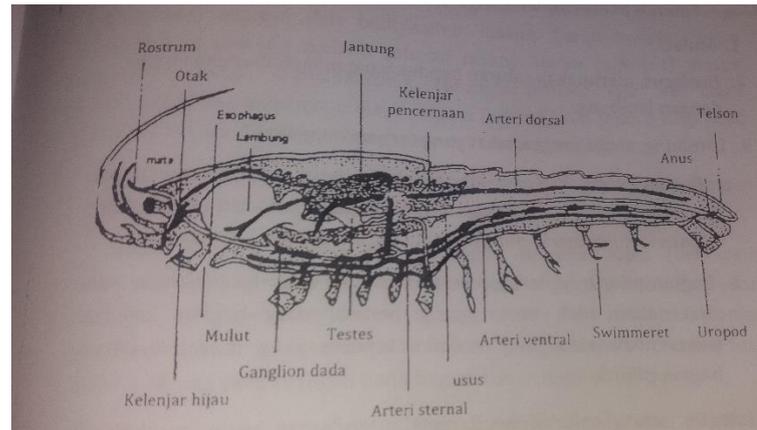
Gambar 2.3 Struktur Morfologi Pelecypoda
(Sumber: Rusyana, 2011, hlm. 101)

b. Arthropoda

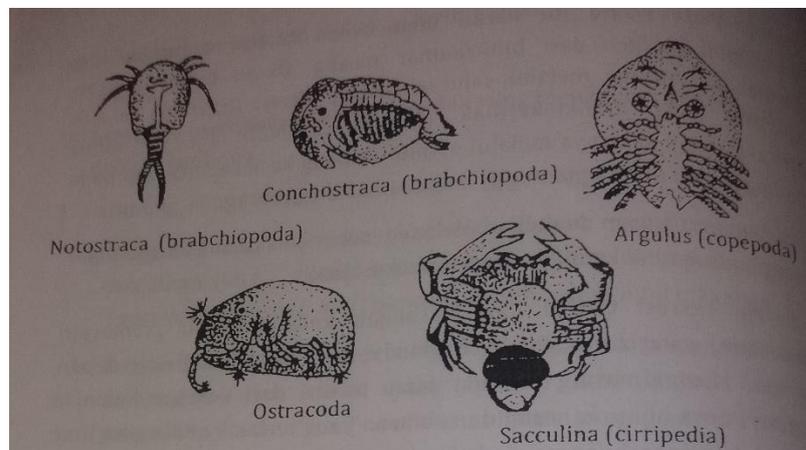
Arthropoda berasal dari kata *Arthron* artinya segmen atau ruas dan *pous* artinya kaki merupakan fium dari kelompok hewan yang kakinya bersegmen-segmen, tubuhnya simetris bilateral yang biasanya terdiri dari sederetan segmen. Terdapat rangka luar dari kitin yang fleksibel untuk memudahkan pergerakan bagian segmen tubuhnya (Rusyana, 2014). Arthropoda dapat dibagi menjadi enam kelas yaitu, *Crustacea*, *Onychopora*, *Arachnoldea*, *Ohilopoda*, *Diplipoda* dan *Insekta*. Diantara kelas-kelas tersebut terdapat beberapa kelompok hewan yang dapat dijadikan bioindikator lingkungan

1) Crustacea

Anggota kelas *crustaceae* pada umumnya merupakan hewan akuatik. Pembagian tubuh sudah jelas, terdiri atas bagian kepala, dada dan perut. Bagian kepala dan dada menyatu dan disebut *Cephalothorax*. Bagian kepala merupakan penyatuan empat buah segmen. Di bagian kepala tersebut dijumpai sepasang antena, sepasang mandibula, dan dua pasang maksila (Merliyana, 2017). Crustace merupakan kelas dari *Arthropoda* yang hidupnya di perairan tawar maupun laut, hewan ini bernafas dengan menggunakan insang. Sistem peredaran darah pada Crustacea adalah peredaran darah terbuka. Contoh yang paling representatif dari Crustacea adalah *Cambarus*. Untuk dapat melihat lebih jelas lagi, berikut disajikan gambar struktur tubuh dari *Cambarus*.



Gambar 2.4 Struktur Tubuh *Cambarus*
(Sumber: Rusyana, 2011, hlm. 143)



Gambar 2.5 Contoh Hewan Kelas Crustacea
(Sumber: Rusyana, 2011, hlm. 146)

Crustaceae dapat hidup dalam berbagai habitat air tawar, air asin dan daratan. Banyak anggota kelas ini yang bermanfaat bagi manusia, walaupun ada beberapa yang merugikan. Menurut Rusyana (2011, hlm. 146) Crustaceae dibagi menjadi beberapa subkelas, diantaranya:

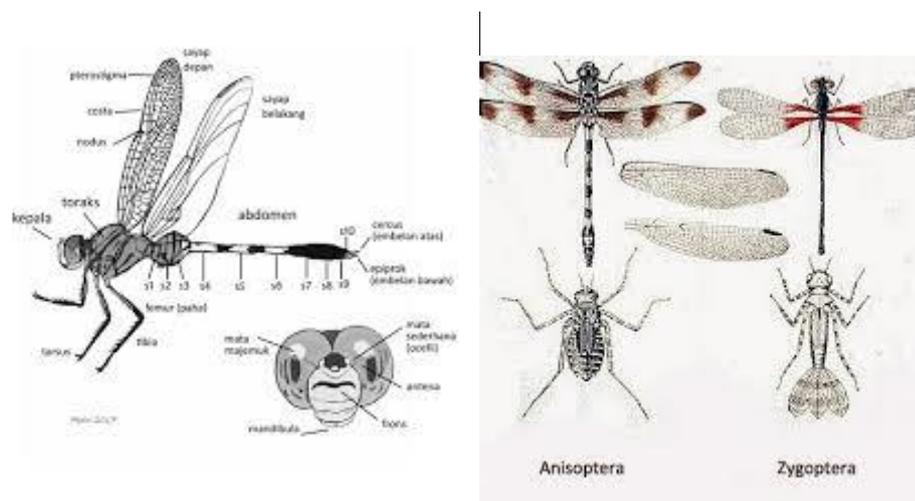
1. *Cephalocarida*, merupakan crustaceae primitif
2. *Branchiopoda*, merupakan crustaceae renik penghuni air tawar
3. *Ostracoda*, merupakan crustaceae renik penghuni air tawar dan air asin
4. *Copedoda*, merupakan crustaceae planktonik.

2) Insekta

Menurut Handayani (2018, hlm. 52) Insekta merupakan makhluk hidup di bumi yang memiliki jumlah terbanyak dari kelasnya. Ciri-ciri tubuh serangga adalah bagian tubuhnya terdiri dari kepala, dada dan perut. Mereka dapat hidup hampir di semua tempat baik di darat maupun di air. Insekta yang hidup dalam perairan adalah berbentuk larva. Larva insekta dapat dijadikan sebagai bioindikator untuk menentukan kualitas perairan karena larva insekta bersifat intoleran terhadap perubahan lingkungan, terutama limbah (Maulina, dkk, 2014). Berikut beberapa ordo dari Insekta yang larvanya digunakan sebagai bioindikator lingkungan.

a) Ordo Odonata

Odonata merupakan serangga yang memiliki tubuh panjang dan ramping, sayapnya memanjang dan bervena banyak serta membraneus. Dalam bentuk dan ukuran sayap depan dan belakang hampir sama. Antena pendek seperti bulu yang keras, saat istirahat sayap dikatukan di atas tubuh atau dibentangkan bersama-sama di atas tubuh. Serangga ini sering melakukan perkawinan pada saat terbang. Nimfa maupun serangga dewasa bertindak sebagai predator, *metamorphosis hemimetabola*. Ordo Odonata dibagi menjadi dua subordo, yaitu subordo Anisoptera (capung) dan subordo Zygoptera (capung jarum) (Jumar, 2000. hlm. 137).



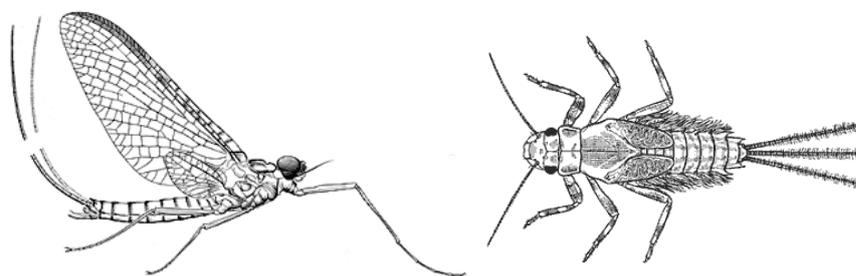
Gambar 2.6 Struktur Tubuh Capung

(Sumber: Tok, 2014 diakses melalui

<https://www.edubio.info/2014/05/biologi-capung-ordo-odonata.html>)

b) Ordo Ephemeroptera

Ephemeroptera merupakan insekta yang nimfanya hidup di perairan akuatik dan hewan dewasanya hidup di kolam, aliran air dan di udara. Pada umumnya larva dari Ephemeroptera bersifat herbivora yang memakan alga atau detritus. Ordo ini memiliki ciri khusus dibanding insekta lainnya yaitu dengan memiliki dua tahap pada pembentukan sayap, dimana sayap awalnya muncul ketika tahap akhir larva dan seringkali tanpa pematangan seksual (Edwi Mahajoeno, 2002)

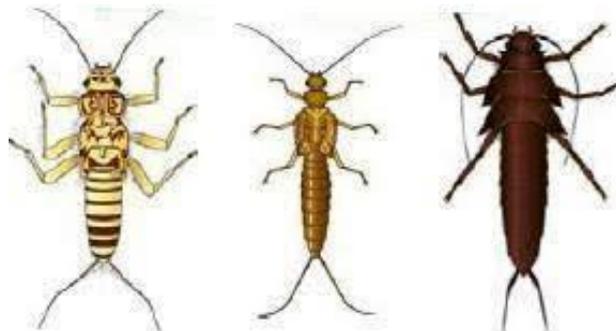


Gambar 2. 7 Spesies Ephemeroptera dewasa dan nimfa

(Sumber: Muchlisisdin, 2016, diakses melalui <https://www.kajianpustaka.com/2016/02/klasifikasi-dan-ordo-serangga.html>)

c) Ordo Plecoptera

Plecoptera merupakan ordo yang sangat sensitif pada pencemaran, kelompok hewan ini memiliki kemampuan metamorfosis yang memungkinkan mereka untuk hidup di perairan pada saat memasuki fase larva dan nimfa, kemudian setelah dewasa akan hidup di darat (Demand, 2015). Larva Plecoptera hidup pada air dingin yang mengalir, ordo ini juga merupakan insekta yang bersifat hemimetabola. (Edwi Mahajoeno, 2002).

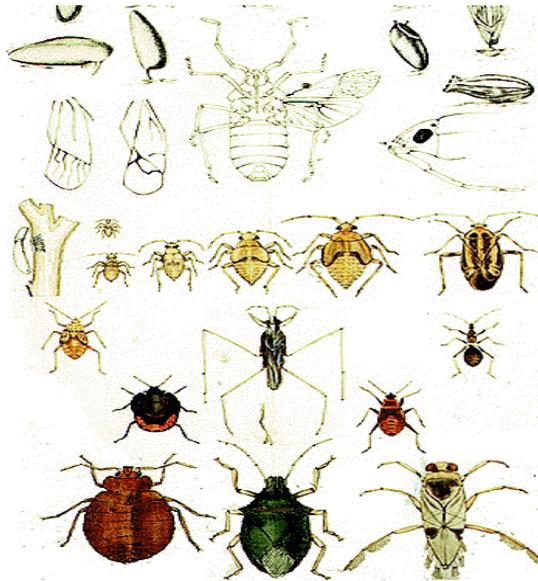


Gambar 2.8 Nimfa Plecoptera

(Sumber: Anonim, diakses melalui <https://dep.wv.gov/WWE/getinvolved/sos/Pages/Plecoptera.aspx>)

d) Ordo Hemiptera

Hemiptera merupakan insekta yang larva dan nimfanya tinggal di perairan. Ciru utama dari Hemiptera adalah struktur mulutnya bebrbentuk seperti jarum. Nimfa dari Hemiptera merupakan pemakan tumbuhan, teteapi ada beberapa dari hemiptera yang bersifat predator dengan mengisap cairan tubuh serangga lainnya (Mahdianto, 2017).

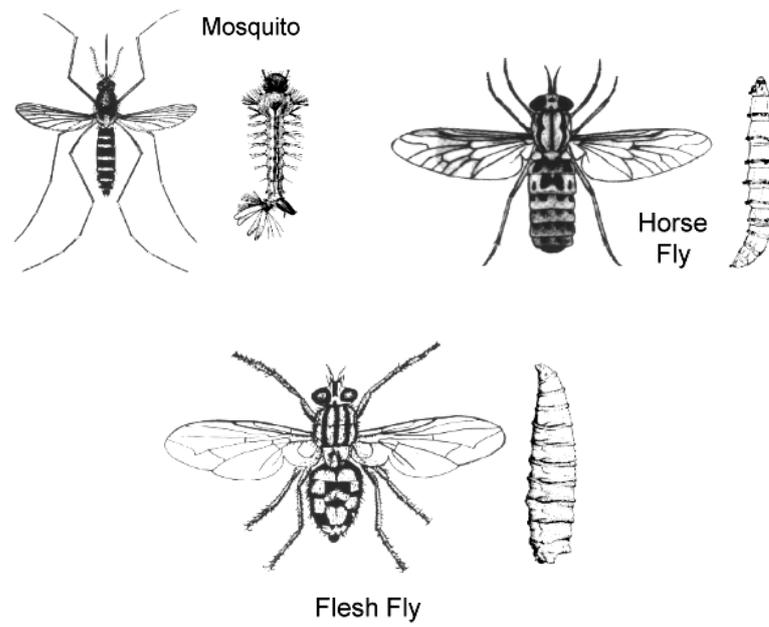


Gambar 2.9 Hemiptera

(Sumber : <http://lakes.chebucto.org/ZOOBENTH/BENTHOS/vi.html>)

e) Ordo Diptera

Diptera merupakan serangga pemakan tumbuhan, penghisap darah, bersifat sebagai predator dan parasitoid. Menurut Nonadita (2017) dalam Fakhrah (2016) pada kepaserangga ini dijumpai adanya antena dan mata pacet. Pada umumnya tipe mulut pada ordo ini memiliki tipe penjilat-penghisap akan tetapi tipe mulut pada ordo Diptera sangat bervariasi tergantung pada sub ordonya.



Gambar 2.10 Spesies Diptera

(Sumber: <https://newvitruvian.com/gnat-drawing.html>)

F. Hasil Penelitian Terdahulu

Tabel 2.4 Kajian Hasil Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti/ Tahun	Judul	Tempat Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
1.	Dyah Muji Rahayu, Gunawan Pratama Yoga, Hefni Effendi, Yusli Wardiatno/ 2015	Penggunaan Makrozoobenthos Sebagai Indikator Status Perairan Hulu Sungai Cisadane, Bogor	Sungai Cisadane, Bogor	Pengambilan sampel dengan menggunakan Ekaman Grab dan <i>Kick net</i>	jenis makrozoobenthos yang dominan adalah <i>Bungona</i> dengan kelimpahan sebesar 171 ind/m ² , <i>Simulium</i> dengan kelimpahan sebesar 101 ind/m ² , dan <i>Polypedium</i> dengan kelimpahan sebesar 28 ind/m ² . Berdasarkan <i>feeding</i> <i>group</i> didominasi oleh <i>filtering collector</i> dan <i>gatherer collector</i> .	Subjek dari penelitian ini makrozoobenthos yang digunakan sebagai bioindikator. Objek penelitian ini adalah status perairan	Objek penelitian ini adalah sungai yang merupakan perairan tawar lotik. Penelitian ini, objek yang diteliti meliputi pengambilan sampel air dengan mengukur tingkat pencemaran logam berat Hg pada perairan. Stasiun pengamatan yang dilakukan pada penelitian ini

No.	Nama Peneliti/ Tahun	Judul	Tempat Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
					Status sungai perairan di Hulu Sungai Cisadene berdasarkan Indeks Pencemaran dan Indeks Pencemaran Logam Berat Hg, menunjukkan tercemar ringan, berdasarkan indeks EPT, menunjukkan baik-tercemar sedang.		menggunakan lima stasiun.
2.	Achmad Taher Daulay, Darma Bakti, Rusdi Leidonald/ 2014	Keanekaragaman Makrozoobentos Sebagai Indikator Kualitas Perairan Danau Siombak Kecamatan Medan Marelan Kota Medan	Danau Siombak, kota Medan	Pengambilan sampel makrozoobentos dilakukan menggunakan Metode Purposive Random	Perairan Danau Siombak termasuk ke dalam golongan kelas C dengan kondisi perairan yang tercemar sedang. Nilai indeks keanekaragaman (H')	Subjek dari penelitian ini makrozoobentos yang digunakan sebagai bioindikator. Objek penelitian ini adalah status	Penelitian ini, objek yang diteliti meliputi keanekaragaman Makrozoobentos. Stasiun pengamatan yang dilakukan pada penelitian ini

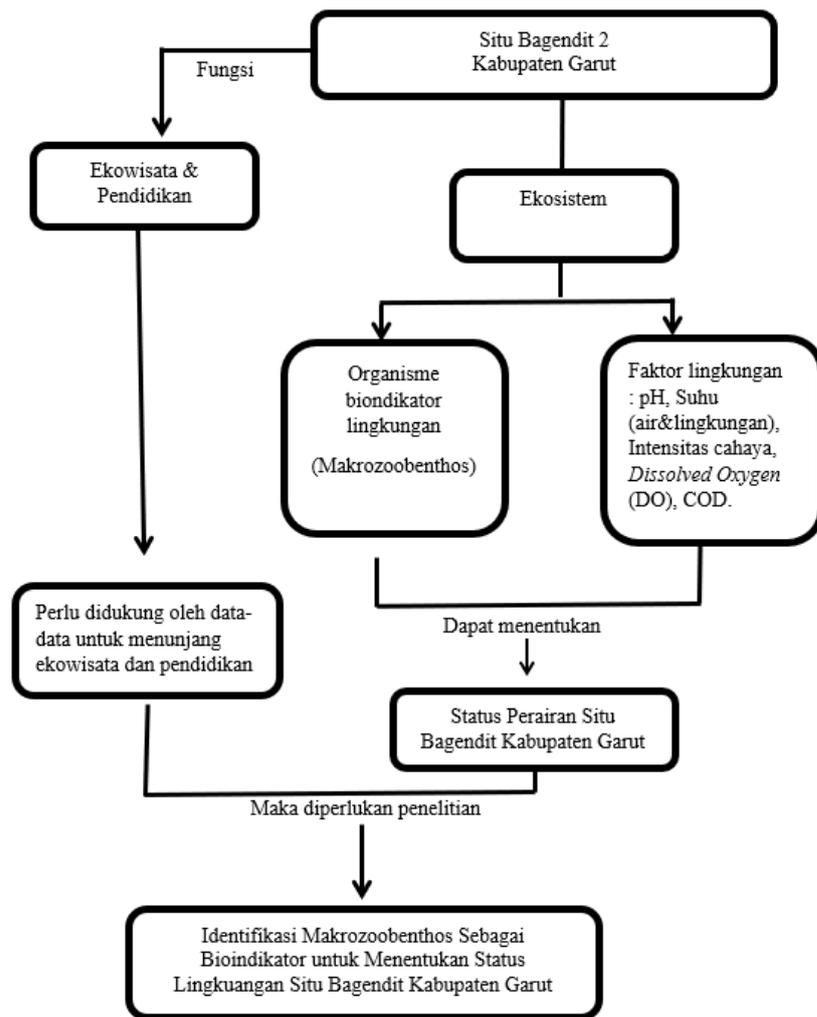
No.	Nama Peneliti/ Tahun	Judul	Tempat Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
				Sampling, yang merupakan teknik pengambilan sampel dengan memperhatikan pertimbanganpertimbangan yang dibuat oleh peneliti	makrozoobentos yang didapat pada setiap stasiun penelitian yaitu berkisar 1,091 – 1,480. Hasil ini menunjukkan bahwa kondisi perairan Danau Siombak memiliki keanekaragaman makrozoobentos yang rendah.	perairan tawar (danau)	menggunakan lima stasiun.

G. Kerangka Pemikiran

Situ Bagendit merupakan danau yang dilingkupi kawasan alami yang masih dikelilingi persawahan dan perkampungan penduduk dengan latar panorama alam pegunungan yang indah (Disparbud, 2011). Menurut Devi dkk (2012) Situ Bagendit merupakan salah satu situ alami yang sumber airnya berasal dari curah hujan, saluran pembuangan daerah irigasi Ciojar dan saluran pembuangan Cibuyutan Selatan. Situ Bagendit dimanfaatkan sebagai sarana pariwisata. Selain sebagai objek wisata kawasan Situ Bagendit berfungsi sebagai daerah resapan air yang dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai pengendali banjir, sumber air baku dan sumber keanekaragaman hayati. Mengingat pemanfaatan air di Situ Bagendit yang digunakan oleh warga sekitar, penting adanya informasi mengenai status dari perairan Situ Bagendit.

Salah satu cara untuk mengetahui status suatu perairan dapat diidentifikasi melalui bioindikator lingkungan. Salah satu bioindikator yang dapat dijadikan sebagai bioindikator lingkungan adalah makrozoobenthos. Makrozoobenthos mampu merespon terhadap gangguan lingkungan, tingkat gangguan dapat dicirikan dengan adanya perubahan komposisi atau proporsi jenis hewan makrozoobenthos (Purnomo, 2014). Makrozoobentos memiliki sifat yang relatif menetap dengan pergerakan yang sangat terbatas sehingga akan terkena dampak langsung apabila terjadi perubahan kualitas air (Rachman, Yuli & Usli, 2016).

Perubahan Suatu kualitas air juga dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan karena faktor lingkungan juga berpengaruh terhadap rentan hidup makrozoobenthos, faktor yang mempengaruhi keberadaan makrozoobenthos dalam perairan adalah faktor abiotik dan biotik. Faktor abiotik yang mempengaruhi keberadaan makrozoobenthos menurut Nugroho (2006) dalam Minggawati (2013, h. 65) meliputi faktor fisika kimia lingkungan perairan, seperti suhu air, intensitas cahaya, kandungan unsur kimia seperti salinitas, kandungan ion hidrogen (pH) dan oksigen terlarut (DO) (Mariam, 2017).



Gambar 2.11
Kerangka Pemikiran