

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Biota Perairan

Perairan terdapat kelompok organisme yang tidak toleran dan kelompok organisme yang toleran terhadap bahan pencemar (Hawkes, 1979). Menurut Walker (1981), organisme yang dapat dijadikan sebagai indikator biologi pada perairan tercemar adalah organisme yang dapat memberikan respon terhadap sedikit-banyaknya bahan pencemar dan meningkat populasi organisme tersebut. Organisme yang tidak toleran akan mengalami penurunan, bahkan akan mengalami kemusnahan ataupun hilang dari lingkungan perairan tersebut (Hawkes, 1979).

Menurut Oey, dkk. (1978) dengan terjadinya perubahan faktor fisika, kimia, dan biologi maka jenis biota air yang mempunyai daya toleransi tinggi akan mengalami peningkatan dan penyebaran yang luas. Organisme yang toleran dapat tumbuh dan berkembang dalam kisaran kondisi lingkungan yang kualitas buruk sekalipun. Menurut Harman (1974), organisme yang dijadikan sebagai indikator biologi harus memiliki sifat sebagai berikut :

1. Mudah dikenal oleh peneliti yang bukan spesialis;
2. Mempunyai sebaran yang luas di dalam lingkungan perairan;
3. Memperlihatkan daya toleransi yang hampir sama pada kondisi lingkungan perairan yang sama;
4. Jangka waktu hidupnya relatif lama;

5. Tidak cepat berpindah tempat bila lingkungannya dimasuki bahan pencemar.

Salah satu biota perairan yang dapat digunakan sebagai indikator perairan adalah kelompok bentos. Bentos dibagi menjadi tiga golongan yaitu, Makrozoobentos, Mikrozoobentos, dan Fitobentos. Pada penelitian ini akan terfokus pada makrozoobentos sebagai indikator air sungai. Hewan makrozoobentos invertebrata merupakan hewan yang tidak bertulang belakang yang dapat dilihat oleh mata biasa dengan ukuran lebih besar dari 200 $\mu\text{m}$  – 500 $\mu\text{m}$  (Slack et al., 1973; Weber, 1973; Wiederholm, 1980; Suess, 1982 dalam Rosenberg dan Resh, 1993). Hewan ini hidup pada dasar kolam, danau, dan sungai untuk seluruh atau sebagian tahapan hidupnya. Mereka dapat hidup pada batuan, ataupun bergerak bebas pada ruang antar batuan, pada runtuhannya bahan organik (Feminella dan Flynn, 1999).

## **B. Klasifikasi Makrozoobentos**

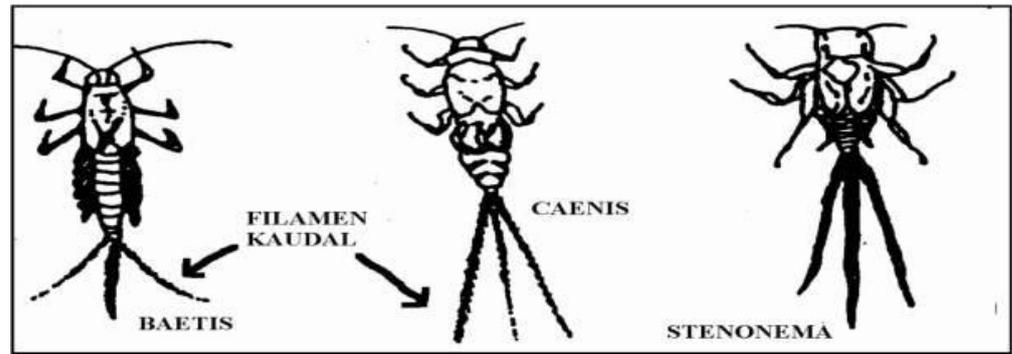
Makrozoobentos ini pada umumnya terdiri dari larva *Insecta*, *Crustacea*, *Mollusca*, *Oligochaeta*, dan *Arachnidae*. Pada klasifikasinya sesuai dengan fungsi masing-masing makrozoobentos maka dibagi menjadi tiga kelompok yaitu Intoleran, Fakultatif, dan Toleran (Feminella dan Flynn, 1999). Menurut Feminella dan Flynn (1999) Ordo utama pada kelompok makrozoobentos dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tiga kelompok hewan makrozoobentos sesuai Indeks EPT

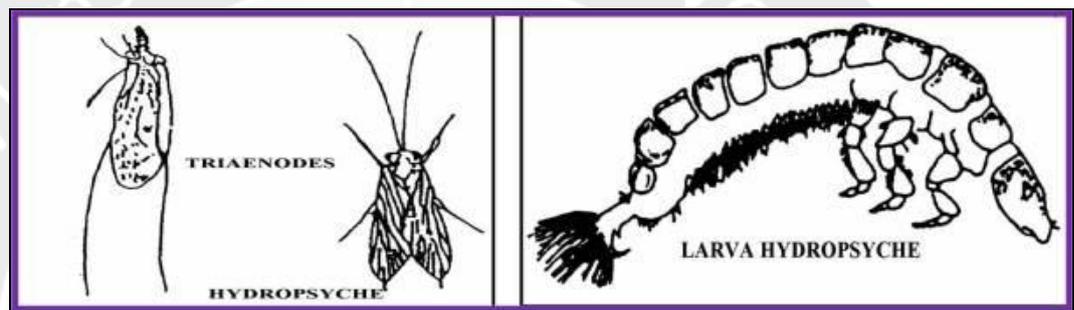
Intoleran	Fakultatif	Toleran
1. Ephemeroptera	1. Coleoptera	1. Simuliidae
2. Plecoptera	2. Pelecypoda	2. Chironomidae
3. Trichoptera	3. Odonata	3. Hirudinae
	4. Tipulidae	4. Gastropoda
	5. Rhagionidae	5. Oligochaeta
	6. Amphipoda	6. Tanyponidae
		7. Turbellaria

(Melati, 2007).

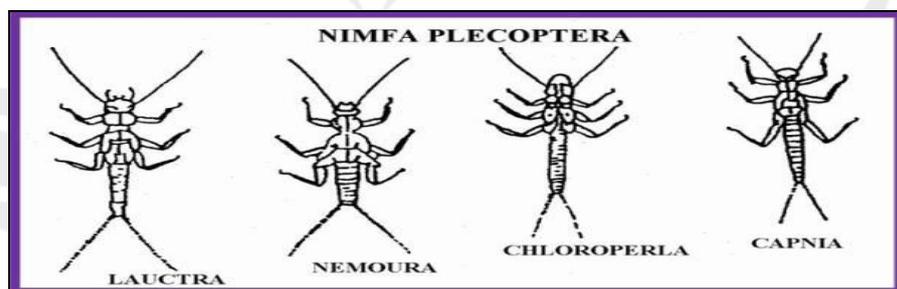
Jenis-jenis pada kelompok ini biasanya hidup pada lingkungan akuatik (sungai) yang memiliki arus cukup deras (Mellanby, 1963). Lingkungan yang biasa disukai adalah jeram yang suhunya cukup dingin (Ward, 1992; Silalom, 1999). Selain itu terdapat hubungan yang baik antara alkalinitas, konduktivitas, total solid yang terlarut ammonia-nitrogen dan nitrat-nitrogen dengan jumlah larva (Silalom, 1999). Larva pada kelas Trichoptera umumnya tidak terlalu toleran atau sensitif terhadap pencemaran organik ringan tapi dapat digunakan sebagai indikator perairan yang bersih. Namun pada jenis-jenis dari kelas Ephemeroptera dan Plecoptera sangat sensitif terhadap pencemaran organik. Gambaran keberadaan dari ketiga kelas utama yang menunjukkan kualitas air tercemar, dapat dilihat pada Gambar 1, 2, dan 3 :



Gambar 1. Ordo dari Kelas Ephemeroptera  
(Anggoro, 1990 Dalam Feminellan dan Flynn, 1999)



Gambar 2. Ordo dari Kelas Trichoptera  
(Anggoro, 1990 Dalam Feminellan dan Flynn, 1999)



Gambar 3. Ordo dari Kelas Plecoptera  
(Anggoro, 1990 Dalam Feminellan dan Flynn, 1999)

Kelompok makrozoobentos fakultatif adalah kelompok yang memiliki toleransi yang luas terhadap kondisi lingkungan hidupnya. Biasanya hewan dari kelompok ini dapat hidup pada daerah yang bersih

sampai tercemar sedang, baik oleh polutan organik maupun anorganik. Kelompok ini lebih menyukai tempat hidup yang dangkal di perairan. Untuk hewan dari kelas Insekta, lebih menyukai tempat yang berarus sedang sampai deras, sedangkan dari kelas Pelecypoda lebih menyukai daerah yang berarus lambat sampai perairan yang tenang (Hawkes, 1979).

Hewan dari kelas Insekta pada kelompok ini merupakan jenis karnivora sehingga tempat hidupnya akan mengikuti daerah yang terdapat banyak mangsa dan mudah untuk ditangkap. Sedangkan, pada kelas Pelecypoda lebih menyukai daerah yang berlumpur karena terdapat makanan yang lebih banyak. Berdasarkan Streamkeepers Database (2000) beberapa kelas dari ordo Diptera adapula yang termasuk dalam kategori hewan fakultatif terhadap pencemaran. Ordo Diptera biasanya dikenal sebagai lalat, nyamuk, dan serangga kecil (flies, mosquitos, midges).

Ciri khas morfologi dari ordo ini adalah tubuh yang berbentuk menyerupai thorax dan sembilan segmen abdomen, tubuh yang lembut dan fleksibel, berwarna putih, abu-abu, kuning, kemerahan, coklat, dan hitam. Permukaan segmen badan dapat ditutupi oleh rambut atau duri, atau dapat pula halus tanpa rambut. Antena jarang yang menonjol keluar.

### **C. Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Makrozoobentos**

Pada kehidupannya makrozoobentos tentu akan dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan. Hal ini sangat berpengaruh pada siklus hidup atau kelimpahan keanekaragaman jenis makrozoobentos itu

sendiri. Menurut Hawkes (1979), faktor yang mempengaruhi kualitas air secara fisik dan kimia adalah sebagai berikut :

a. DO

Oksigen yang terlarut dalam air dapat mencapai kejenuhan tergantung pada suhu air, semakin tinggi suhu air maka semakin berkurang tingkat kejenuhan oksigen terlarut di dalamnya. Kisaran kelarutan oksigen di dalam air biasanya mencapai 7-14 ppm. Kelarutan  $O_2$  di daerah tropik, di dalam air udara terbuka biasanya mencapai 7-8 ppm, sedangkan untuk menghindari kematian organisme air, biasanya diperlukan kadar oksigen terlarut di dalam air maksimum adalah 4-6 ppm (Sugiharto, 1987).

b.  $CO_2$

Kandungan  $CO_2$  bebas di perairan dipengaruhi oleh organisme yang ada di perairan yang melakukan respirasi. Karbondioksida ini sangat penting sebagai komponen yang digunakan untuk fotosintesis tumbuhan air dan fitoplankton. Kadar total  $CO_2$  di perairan dapat bertambah banyak karena penambahan ion karbonat dan bikarbonat. Karbondioksida dalam air yang berada dalam bentuk ion bikarbonat disebut  $CO_2$  terikat. Karbondioksida terikat, dalam kondisi asam berubah jadi  $CO_2$  bebas (Darsono, 1992).

c. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman digunakan sebagai ukuran kebasaaan atau keasaman suatu larutan. Konsentrasi pH pada kehidupan air yang

normal biasanya berkisar antara 6,5 – 7,5 (Sugiharto, 1987). Bagi organisme-organisme yang merombak bahan organik biasanya mempunyai kisaran pH yang sempit, berkisar antara 6,5 – 8,5 (Darsono, 1992). Menurut Liedy (1980), pH kurang dari 5 dan lebih dari 10 masih dapat ditoleransi tetapi membutuhkan waktu yang relative lama dan hanya spesies yang resisten saja yang mampu melakukannya.

d. Suhu

Suhu akan berpengaruh terhadap kadar oksigen terlarut didalam air dan proses pertukaran zat makhluk hidup. Suhu yang makin tinggi menyebabkan kelarutan oksigen di dalam air semakin berkurang (Wardoyo, 1978 dalam Rini, 2008). Suhu di daerah tropic yang mendekati 30°C tidak hanya menyebabkan terjadinya penurunan jumlah O<sub>2</sub> terlarut tetapi juga menyebabkan terjadinya penurunan oksigen bagi mikroorganisme dan sebaliknya akan terjadi penambahan jumlah karbondioksida yang dikeluarkan oleh mikroorganisme itu sendiri (Riyadi, 1984).

e. Kekeruhan (TDS)

Kekeruhan adalah ukuran yang menggunakan efek cahaya sebagai dasar untuk mengukur keadaan sungai (Sugiharto, 1987). Terjadinya kekeruhan pada dasarnya disebabkan oleh adanya partikel-partikel kecil dan zat-zat koloid (zat yang terapung serta terurai secara halus), yang berukuran 10 nm – 10 m. partikel-

partikel kecil dan koloid ini tidak lain adalah tanah liat dan sisa tanaman (Alaerts dan Santika, 1987).

Kekeruhan menyebabkan berkurangnya penetrasi cahaya karena seringkali cahaya akan dihalangi oleh zat-zat tersebut sehingga zona fotosintesis terbatas pada tingkat tertentu saja. Bila kekeruhan ini oleh organisme, ukuran kekeruhan ini akan menjadikan suatu indikasi bagi produktifitas.

f. Kecepatan Arus Air

Menurut Ward (1992), distribusi organisme di dalam air sangat dipengaruhi oleh kecepatan arus air, karena kecepatan arus air akan terus memodifikasi habitat sungai. Sastrawijaya (1991), membagi kecepatan arus menjadi beberapa kriteria dan menunjukkan bahwa kecepatan arus dapat mempengaruhi sifat dasar sungai.

g. Substrat

Substrat dasar perairan secara langsung dan tidak langsung dapat di pengaruhi oleh kecepatan arus, selanjutnya keadaan susbstrat dasar merupakan faktor yang sangat menentukan pola distribusi atau penyebaran serangga dalam suatu perairan (Hawks, 1979).

Jenis yang berbeda menunjukkan reaksi yang berbeda terhadap pencemaran, sehingga dengan adanya makrozoobentos jenis tertentu dapat dijadikan petunjuk untuk menafsirkan kualitas suatu badan air tertentu, misalnya keberadaan cacing *Polychaeta* dari suku

*Capitellidae*, yaitu *Capitella capitella* menunjukkan perairan tercemar, sedangkan *Capitella ambiesta* terdapat pada lingkungan yang tidak tercemar (Hawkes, 1979).

#### **D. Makrozoobentos sebagai Bioindikator Perairan**

Makrozoobentos secara terus menerus terkena substansi yang diangkut oleh aliran sungai sehingga memiliki kisaran toleransi yang berbeda-beda terhadap perubahan kondisi lingkungan. Hal ini menyebabkan makrozoobentos sesuai untuk dijadikan indikator ekologi dari suatu perairan. Makrozoobentos tersebut dapat dikuantifikasi dengan menentukan kekayaan spesies (jumlah jenis hewan yang tercuplik dalam sampel), kelimpahan (jumlah total individu dalam sampel), kelimpahan rata-rata (jumlah rata-rata satu jenis hewan terhadap jenis yang lainnya), dan keanekaragaman spesies (distribusi total individu setiap jenis pada sampel). Mudahnya kuantifikasi makrozoobentos tersebut menunjukkan bahwa makrozoobentos memenuhi syarat sebagai bioindikator selain terpenuhinya syarat-syarat yang lainnya (variasi genetik yang sedikit, mobilitas terbatas, dan mudah pengindentifikasian masing-masing jenis) (Rosenberg dan Resh, 1993).

Menurut Hawkes (1979), beberapa keuntungan penggunaan makrozoobentos adalah:

1. Merupakan hewan kosmopolitan sehingga dapat dipengaruhi oleh perubahan kondisi lingkungan pada berbagai tipe perairan,

2. Jenis dari makrozoobentos sangat banyak sehingga memungkinkan spektrum luas dalam pengamatan terhadap respons stres di lingkungan,
3. Hewan-hewan ini pergerakannya cenderung sedikit sehingga dapat dilakukan analisis spasial yang efektif terhadap efek dari polutan,
4. Siklus hidup yang panjang memungkinkan diuraikannya perubahan yang bersifat sementara akibat gangguan yang terjadi.

Keuntungan-keuntungan ini menyebabkan makrozoobentos bertindak sebagai pengawas secara terus-menerus terhadap kualitas air tempat hidupnya. Namun disamping berbagai keuntungan yang bisa didapatkan dari bioindikator makrozoobentos, terdapat pula kerugian dari penggunaan makrozoobentos tersebut. Selain itu, makrozoobentos juga sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor fisik air, seperti kecepatan arus air. Kemudian pada tahap analisis masih banyak jenis-jenis makrozoobentos yang sulit untuk diidentifikasi (Rosenberg dan Resh, 1993).

Penggunaan makrozoobentos sebagai indikator kualitas perairan dinyatakan dalam bentuk indeks biologi. Cara ini telah dikenal sejak abad ke-19 dengan pemikiran bahwa terdapat kelompok organisme tertentu yang hidup di perairan tercemar. Jenis-jenis organisme ini berbeda dengan jenis-jenis organisme yang hidup di perairan tidak tercemar. Kemudian oleh para ahli biologi perairan, pengetahuan ini dikembangkan, sehingga perubahan struktur dan

komposisi organisme perairan karena berubahnya kondisi habitat dapat dijadikan indikator kualitas perairan (Abel, 1989; Rosenberg and Resh, 1993).

Metode kualitatif tertua untuk mendeteksi pencemaran secara biologis adalah sistem saprobik (Warent, 1971) yaitu sistem zonasi pengkayaan bahan organik berdasarkan spesies hewan dan tanaman spesifik. Menurut Hynes (1978), yang berpendapat bahwa sistem saprobik mempunyai beberapa kelemahan, antara lain kurang peka terhadap pengaruh buangan yang bersifat toksik. Tidak ditemukannya makrozoobentos tertentu belum tentu dikarenakan adanya pencemaran organik, sebab mungkin dikarenakan kondisi fisik perairan yang kurang mendukung kehidupannya atau kemunculannya dikarenakan daur hidupnya (Hawkes, 1979).

Adanya kelemahan sistem saprobik, maka untuk menilai kualitas perairan, secara kuantitatif dilakukan metode pendekatan memakai model-model matematik. Metode ini dikembangkan berdasarkan terjadinya perubahan struktur komunitas sebagai akibat perubahan yang terjadi dalam kualitas lingkungan perairan karena berlangsungnya pencemaran. Model yang umum digunakan adalah dengan mengetahui indeks keragaman jenis, keseragaman populasi dan dominansi jenis (Magurran, 1988).

Menurut Magurran (1988), Keragaman jenis disebut juga keheterogenan jenis, merupakan ciri yang unik untuk menggambarkan

struktur komunitas di dalam organisasi kehidupan. Suatu komunitas dikatakan mempunyai keragaman jenis tinggi, jika kelimpahan masing-masing jenis tinggi dan sebaliknya keragaman jenis rendah jika hanya terdapat beberapa jenis yang melimpah. Perbandingan antara keragaman dan keragaman maksimum dinyatakan sebagai keseragaman populasi, yang disimbolkan dengan huruf E. Nilai E ini berkisar antara 0 - 1. Semakin kecil nilai E, semakin kecil pula keseragaman populasi, artinya penyebaran jumlah individu setiap jenis tidak sama dan ada kecenderungan satu spesies mendominasi, begitu pula sebaliknya semakin besar nilai E maka tidak ada jenis yang mendominasi. Untuk melihat dominasi suatu spesies digunakan indeks dominansi (D).

Berdasarkan nilai indeks keragaman jenis zoobentos, yang dihitung berdasarkan formulasi Shannon-Wiener, dapat ditentukan beberapa kualitas air. Menurut Wilhm (1975) menyatakan bahwa air yang tercemar berat, indeks keragaman jenis zoobentosnya lebih kecil dari satu. Jika berkisar antara satu sampai dengan tiga, maka air tersebut setengah tercemar. Air bersih, indeks keragaman zoobentosnya lebih besar dari tiga.

Menurut Staub *et al.* dalam Wilhm (1975), menyatakan bahwa berdasarkan indeks keragaman zoobentos, kualitas air dapat dikelompokkan atas tercemar berat ( $0 < H' < 1$ ), setengah tercemar ( $1 < H' < 2$ ), tercemar ringan ( $2 < H' < 3$ ) dan tercemar sangat ringan

( $3 < H < 4,5$ ). Kisaran nilai  $H'$  tersebut merupakan bagian dari penilaian kualitas air yang dilakukan secara terpadu dengan faktor fisika kimia air. Lee *et al.* (1978) dalam Melati (2007), menyatakan bahwa nilai indeks keragaman ( $H$ ) pada perairan tercemar berat, kecil dari satu ( $H < 1$ ), tercemar sedang (1,0 - 1,5), tercemar ringan (1,6 - 2,0), dan tidak tercemar  $H$  besar dari dua ( $H > 2,0$ ), kategori kualitas perairan dan tingkat pencemaran berdasarkan indeks keanekaragaman makrozoobentos Shannon-Weiners dibagi menjadi empat kelompok, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Tingkat Pencemaran (Lee, 1978 dalam Melati, 2007).

Indeks Shannon	Kualitas Air	Kategori Pencemaran
<1	Sangat Jelek	Pencemaran berat
>1 - 2	Jelek	Pencemaran sedang/cukup berat
>2 - 3	Sedang	Pencemaran ringan
>3 - 4.5	Baik	Pencemaran ringan/tidak tercemar
>4.5	Sangat baik	Tidak tercemar