

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ekosistem Sungai

Ekosistem perairan yang terdapat di daratan secara umum dibagi dua yaitu perairan lentik (perairan menggenang) misalnya danau, rawa, waduk serta perairan lotik (perairan mengalir) seperti sungai, kali, kanal dan air terjun. Perbedaan utama antara perairan lotik dan perairan lentik adalah kecepatan arus air. Perairan lentik mempunyai arus air yang lambat dan cenderung terjadi akumulasi massa air dalam periode waktu yang lama, sedangkan perairan lotik umumnya memiliki kecepatan arus yang deras yang diikuti perpindahan massa air yang berlangsung dengan cepat (Barus, 2004).

Suatu ekosistem perairan mempunyai dua komponen penyusun yaitu komponen biotik dan abiotik. Komponen biotik mencakup produsen, konsumen, dan *dekomposer*. Komponen abiotik mencakup senyawa-senyawa anorganik (C, N, CO₂, H₂O dan lain sebagainya), senyawa organik (protein, karbohidrat, lemak dan lain sebagainya) dan faktor iklim (curah hujan, temperatur, kelembaban dan lain sebagainya (Odum, 1998).

Aktivitas suatu komponen dalam ekosistem selalu memberikan pengaruh pada komponen yang lain. Manusia merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam ekosistem dan seringkali mengakibatkan dampak buruk pada komponen lingkungan perairan secara keseluruhan (Asdak, 1995).

Secara alamiah, adanya aliran air dari hulu ke hilir karena adanya perbedaan topografi daerah alirannya dapat menyebabkan volume aliran air dan komponen kimia berubah dengan cepat sejalan dengan kemiringan tersebut. Komunitas biologi di sepanjang aliran sungai dapat dipengaruhi oleh kecepatan arus sungai, komposisi substrat dasar sungai dan faktor-faktor lingkungan lainnya (Whitten, dkk., 1987). Sungai merupakan habitat bagi berbagai jenis organisme akuatik. Keberadaannya merupakan proses adaptasi terhadap berbagai faktor lingkungan yang sudah dan sedang berlangsung dalam sungai tersebut. Kondisi kualitas lingkungan perairan sangat cepat berubah sebagai akibat aktivitas manusia (Barus, 2004).

2.2 Karakteristik Makrozoobentos

Hewan bentos merupakan kelompok hewan yang sebagian atau seluruh siklus hidupnya berada di dasar perairan baik sesil, merayap, maupun menggali lubang (Odum, 1998). Hewan bentos mempunyai peranan dalam proses dekomposisi dan mineralisasi material organik di dalam perairan, serta menduduki beberapa tingkatan tropik dalam rantai makanan (Izmiarti & Nofrita, 1996)

Hewan ini merupakan organisme kunci dalam jaring makanan karena dalam sistem perairan berfungsi sebagai herbivora, predator, *suspension feeder*, *detritivore*, *scavenger* dan parasit. Makrozoobentos merupakan salah satu kelompok paling penting dalam ekosistem perairan (Odum, 1998).

Makrozoobentos merupakan invertebrata dasar perairan dengan pergerakan relatif lambat dan keberadaannya sangat dipengaruhi oleh kondisi substrat dasar, arus dan kualitas perairan. Makrozoobentos memiliki peran yang cukup besar dalam menguraikan material organik yang jatuh ke dasar perairan (Suin, 2002). Sebagian besar hewan bentos ini berperan sebagai konsumen tingkat pertama sampai konsumen tingkat kedua. Selanjutnya, hewan ini dimakan oleh konsumen tingkat ketiga, seperti ikan (Izmiarti & Nofrita, 1996). Berdasarkan kemampuan adaptasinya terhadap perubahan lingkungan dan keberadaannya relatif menetap pada habitat, maka makrozoobentos dapat dijadikan sebagai indikator perairan karena mempunyai sifat spesifik terhadap perubahan kualitas perairan.

2.3 Makrozoobentos sebagai Indikator Kualitas Air

Penentuan kualitas air secara biologi dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa jenis organisme seperti diatom (plankton), mikroorganisme, ikan, vertebrata akuatik dan invertebrata akuatik (Kalyoncu, dkk., 2009). Sebagian besar peneliti dalam menentukan kualitas badan air terutama sungai dan mata air banyak menggunakan organisme makrozoobentos. Komunitas dan kelimpahannya sangat beragam dan memiliki tingkat respon yang cepat terhadap adanya perubahan lingkungan (Furaidah & Retnaningdyah, 2013). Makrozoobentos merupakan organisme akuatik yang hidupnya relatif menetap di dasar perairan, memiliki pergerakan yang sangat lambat, memiliki respon yang cepat terhadap akumulasi bahan pencemar, memiliki sensitivitas berbeda pada tiap

spesies terhadap respon yang diberikan, beranekaragam komunitas, dan memainkan peranan penting dalam menguraikan nutrisi dan material organik (Yorulmaz, dkk, 2015). Berdasarkan karakteristik dari habitatnya, makrozoobentos di dasar perairan dapat bersifat menempel (*sessile*), berjalan lambat (*creeping*) dan menggali (*burrowing*). Hidupnya ada yang merayap di permukaan yang disebut epifauna seperti *Crustacea* dan larva serangga serta ada yang hidup pada substrat lunak didasar lumpur yang disebut infauna seperti *Bivalvia* dan *Polychaeta* (Triastuti dkk., 2004).

Komunitas makrozoobentos dapat digunakan dalam menentukan kualitas air (Duran, 2011). Komponen yang menerangkan tentang komunitas makrozoobentos meliputi tiga komponen yaitu kelimpahan, kesamaan dan diversitas (Sarang & Sharma, 2009). Berdasarkan ukurannya bentos dibedakan menjadi 3 macam yakni mikrozoobentos dengan ukuran kurang dari 0,1 mm, meiobentos yang memiliki ukuran 0,1 - 1 mm dan makrozoobentos yang memiliki ukuran kurang lebih 1 mm (Mariantika & Retnaningdyah, 2014).

Makrozoobentos mempunyai karakteristik relatif mudah diidentifikasi, mempunyai kemampuan yang cepat dalam menanggapi respon terhadap perubahan lingkungan serta memiliki sifat yang sensitif terhadap akumulasi bahan pencemar. Dengan demikian hewan ini dapat digunakan sebagai organisme bioindikator perubahan kualitas air. Berdasarkan daya kepekaan makrozoobentos terhadap pencemaran bahan organik, bentos dapat dibedakan menjadi tiga kelompok yakni intoleran, fakultatif dan toleran (Sharma dkk., 2008).

Organisme intoleran yakni organisme yang dapat hidup dan berkembang pada kisaran kondisi lingkungan yang sempit dan memiliki tingkat kepekaan yang tinggi terhadap pencemaran bahan organik sehingga sulit beradaptasi pada penurunan kualitas air. Organisme fakultatif merupakan organisme yang kurang peka terhadap pencemaran bahan organik walaupun dalam kisaran tertentu dapat memberikan respon yang sensitif. Organisme toleran yakni organisme yang dapat hidup dan mampu berkembang dalam kondisi pencemaran organik tinggi. Kisaran kepekaannya sangat luas sehingga mampu berkembang dalam kualitas air buruk. Berdasarkan pengelompokannya terhadap tingkat status pencemaran di perairan dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Pengelompokan makrozoobentos berdasarkan tingkat pencemaran di perairan

Status	Indikator kualitas air	Makrozoobentos
Intoleran	Baik	Kelas EPT: Ephemeroptera (<i>Mayfly</i>), Plecoptera (<i>Stoneflies</i>) dan Trichoptera (<i>Caddisflies</i>) meliputi <i>Ephemeroptera simulans</i> (lalat sehari), <i>Acroneuria evoluta</i> (lalat batu), <i>Chimarra obsura</i> , <i>Mesovelia</i> sp. (kepik), <i>Helichus lithophilus</i> (kumbang), <i>Anopheles punctiennis</i> (Nyamuk), <i>Gammarus</i> sp., <i>Ischnura elegans</i> , <i>Caenis rivulorum</i> , <i>Baetis vernus</i> , Hydropsychidae, Heptageniidae, Baetidae, dan Psephenidae dan <i>Centroptilum luteolum</i> .
Fakultatif	Moderat	<i>Stenonema heterotarsale</i> (lalat sehari), <i>Teniopteryx maura</i> (lalat batu), <i>Hydropsyche bronta</i> , <i>Agrion maculatum</i> , <i>Corydalis cornutus</i> (lalat), <i>Agabus stagninus</i> (kumbang), <i>Chironomous decorus</i> , <i>Helodrilus cholutica</i> (cacing <i>Oligochaeta</i>). <i>Melanoides tuberculata</i> , <i>Thiara winterii</i> , <i>Thiara scabra</i> , <i>Antocha saxicola</i> .
Toleran	Buruk	<i>Chironomous riparium</i> (sejenis nyamuk), <i>Asellus</i> sp., <i>Limnodrilus</i> sp., <i>Tubifex</i> sp. (cacing <i>Oligochaeta</i>), <i>Potamothrix moldaviensis</i> , <i>Lymnaea acuminata</i> , dan <i>Tanypus punctipennis</i>

(Mariantika & Retnaningdyah, 2014; Pradana dkk., 2004)

2.4 Struktur Komunitas dan Beberapa Indeks Biotik dari Makrozoobentos Penentu Kualitas Air

Secara hirarki dalam ilmu ekologi pengertian komunitas yakni sekumpulan dari populasi yang memiliki beranekaragam karakter dan saling berinteraksi. Berbagai macam karakter spesies terbentuklah diversitas spesies atau lebih dikenal dengan keanekaragaman spesies. Diversitas merupakan perbedaan dari sekumpulan karakter baik dari segi komposisi genetik, fisiologis, morfologi, umur, maupun fase perkembangan. Menurut Mariantika & Retnaningdyah (2014) keanekaragaman jenis yakni jumlah individu dan jumlah jenis dalam satu komunitas. Komponen

keanekaragaman jenis terdiri dari dua kelompok yakni kekayaan jenis (*taxa richness*) dan pemerataan jenis (*species evenness*). Kekayaan jenis adalah jumlah jenis per satuan area.

Penentuan keanekaragaman suatu komunitas dapat menggunakan indeks diversitas. Indeks diversitas dikatakan seimbang jika tidak ada spesies yang mendominasi. Indeks diversitas yang sering digunakan peneliti banyak menggunakan indeks diversitas *Shannon-Wiener* yang mempunyai persamaan sebagai berikut:

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

(Mandaville, 2002)

Keterangan :

H = indeks diversitas Shannon Wiener

∑ = jumlah

s = jumlah Famili yang ditemukan dalam komunitas

i = jumlah individu ke- i

pi = proporsi jumlah individu taksa- i

ln = logaritma natural berbasis e (2,718)

Nilai indeks diversitas Shannon Wiener dapat ditentukan melalui tingkat klasifikasi derajat pencemaran seperti pada Tabel 2 .

Tabel 2. Klasifikasi derajat pencemaran berdasarkan indeks keanekaragaman (H) Shannon Wiener.

Derajat Pencemaran	Indeks Keanekaragaman (H)
Belum Tercemar	2,0
Tercemar Ringan	2,0 – 1,6
Tercemar Sedang	1,5 – 1,0
Tercemar Berat	1,0

(Lee, 1978; Odum 1971)

Kelimpahan organisme adalah jumlah individu per suatu area. Kelimpahan dapat diukur menggunakan dua cara yaitu dengan menentukan kelimpahan absolut atau jumlah individu per unit area

dan kelimpahan relatif atau populasi spesies yang mendukung kelimpahan total (Michael, 1995). Faktor- faktor yang menentukan kelimpahan spesies berhubungan dengan faktor lingkungan seperti kompetisi, waktu umur, predasi, emigrasi, imigrasi, dan mortalitas. Berdasarkan nilai tingkat kelimpahan spesies dapat dikategorikan kualitas biodiversitas seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Kategori kualitas biodiversitas berdasarkan tingkat kelimpahan spesies

Kriteria	Kelimpahan spesies (ind/unit)
0	Tidak ada
1-10	Kurang
11-20	Cukup
>20	Sangat banyak

(Michael, 1995)

Family Biotic Index (FBI) merupakan indeks biotik yang dapat digunakan dalam pengukuran kualitas air berdasarkan pencemaran bahan organik. Index ini mempunyai kisaran nilai toleransi dari 0 (sangat tidak toleran) hingga 10 (sangat toleran) (Tabel 4). FBI merangkum berbagai jenis nilai toleransi dari komunitas makrozoobentos. FBI (*Family Biotic Index*) merupakan modifikasi dari HBI (*Hilsenhoff Biotic Index*) (Rehn, 2009). Indeks ini diukur secara kuantitatif yang memerlukan perhitungan individu pada tingkatan famili menggunakan persamaan berikut:

$$FBI = \frac{\sum xi ti}{n}$$

(Mandaville, 2002)

Keterangan :

FBI = Nilai FBI tiap Lokasi

\sum = jumlah

xi = jumlah individu taxa- i

ti = proporsi skor toleransi taksa-i

n = jumlah total individu yang ditemukan

Tingkat penggolongan kualitas air berdasarkan nilai FBI (*Family Biotic Index*) dapat ditentukan seperti Tabel 4.

Tabel 4. Penggolongan kualitas air berdasarkan nilai FBI

Nilai FBI	Kualitas air	Derajat Pencemaran Organik
00,00 – 3,75	Excellent	Tidak terpolusi (<i>organic pollution unlikely</i>)
3,76 – 4,25	<i>Very good</i> (Sangat baik)	Sekidit terpolusi (<i>possible slight organic pollution</i>)
4,26 – 5,00	<i>Good</i> (Baik)	Terpolusi beberapa (<i>some organic pollution probable</i>)
5,01 – 5,70	<i>Fair</i> (Cukup)	Terpolusi agak banyak (<i>fairly substantial pollution likely</i>)
5,76 – 6,50	<i>Fairly poor</i> (Cukup buruk)	Terpolusi banyak (<i>substantial pollution likely</i>)
6,51 – 7,25	<i>Poor</i> (Buruk)	Terpolusi sangat banyak (<i>very substantial pollution likely</i>)
7,26 – 10,00	<i>Very poor</i> (Sangat buruk)	Terpolusi berat (<i>severe organic pollution likely</i>)

(Mandaville, 2002)

Average Score per Taxa (ASPT) sangat baik digunakan dalam memperhitungkan bahan pencemaran tinggi terhadap organisme toleran. Rata-rata skor toleransi dari seluruh taksa pada sebuah suatu komunitas. ASPT dihitung dari pembagian skor BMWP (*Biological Monitoring Working Party*) individu yang ditemukan dengan jumlah famili yang ditemukan per Lokasi (Mandaville, 2002). Penggolongan kualitas air berdasarkan ASPT dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 5. Kualitas air berdasarkan nilai ASPT

Nilai	Kualitas air
>6	Air bersih (<i>clean water</i>)
5-6	Kualitas meragukan (<i>doubtful quality</i>)
4-5	Kemungkinan tecemar sedang (<i>probable moderate quality</i>)
<4	Kemungkinan tecemar berat (<i>probable severe quality</i>)

(Mandaville, 2002)

2.5 Faktor yang Mempengaruhi Komunitas Makroinvertebrata Bentos

Keberadaan komunitas makroinvertebrata bentos di sungai sangat dipengaruhi oleh faktor biotik dan abiotik. Krebs (1989) menyatakan bahwa faktor biotik perairan yang mempengaruhi komunitas hewan bentos adalah kompetisi baik persaingan terhadap ruang hidup dan makanan (alga dan hewan kecil lainnya), pola siklus hidup dan predator (pemangsa) serta tingkat produktivitas primer. Masing-masing faktor biotik tersebut dapat berdiri sendiri, namun ada kalanya faktor tersebut saling berinteraksi secara bersama-sama mempengaruhi komunitas pada suatu perairan. Selain itu, keberadaan hewan bentos dalam suatu ekosistem perairan juga dipengaruhi oleh faktor abiotik. Beberapa diantaranya adalah suhu air, kecepatan arus, tipe substrat, O₂ terlarut, BOD₅, CO₂ dan kandungan organik substrat (Odum, 1998).

Suhu perairan dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang masuk ke dalam air. Suhu selain berpengaruh terhadap berat jenis, viskositas dan densitas air, juga berpengaruh terhadap kelarutan gas dan unsur-unsur dalam air. Perubahan suhu dalam kolom air akan menimbulkan arus secara vertikal. Adanya perubahan suhu air dalam air baik secara langsung maupun tidak langsung akan mempengaruhi metabolisme dan distribusi

Sebagian besar hewan air termasuk makrozoobentos adalah poikilotermik, sehingga suhu tubuh bervariasi sesuai dengan lingkungannya. Proses fisiologis (respirasi, pencernaan, dan fotosintesis) didasarkan pada reaksi biokimia tergantung pada suhu lingkungan. Laju pertumbuhan, produktivitas dan panjang siklus hidup juga tergantung pada suhu, sehingga suhu dapat langsung mempengaruhi biota air (Allan, 2001).

Kecepatan arus merupakan salah satu faktor pembatas utama yang menentukan keberadaan jenis zoobentos di sungai. Menurut Odum (1998) kecepatan arus dipengaruhi oleh kemiringan, kedalaman serta lebar sungai.

Hewan bentos yang hidup pada aliran deras berbeda dengan aliran lambat. Hewan bentos yang hidup dialiran deras harus memiliki adaptasi khusus terhadap aliran deras tersebut, seperti mempunyai cakar (*claw*) yang kuat untuk menempel, alat isap, mempunyai tabung dan sebagainya. Contoh hewan bentos yang

hidup di aliran deras adalah Ephemeroptera, Trichoptera, Coleoptera dan Lepidoptera. Sedangkan hewan bentos di perairan tenang biasanya membenamkan sebagian atau keseluruhan tubuhnya ke dalam substrat dengan cara menggali substrat. Beberapa contohnya adalah Chironomid, Oligochaeta, Pelecypoda (Giller & Malmqvist, 2003).

Substrat dasar yang berupa bebatuan pipih dan batu kerikil merupakan lingkungan hidup yang baik bagi hewan bentos, sehingga bisa memiliki keanekaragaman dan kepadatan yang besar (Odum, 1998). Dasar perairan berupa pasir dan sedimen halus merupakan lingkungan hidup yang kurang baik untuk hewan bentos penempel (Koesbiono, 1979).

Allan (2001) menyatakan bahwa substrat merupakan ruang habitat untuk berbagai kegiatan seperti masa istirahat, reproduksi dan tempat berlindung dari predator. Selain sebagai habitat, substrat tertentu bagi hewan bentos dapat juga dijadikan sebagai sumber makanan. Tipe substrat suatu perairan menentukan komposisi dan kepadatan organisme dasar perairan.

Menurut Persoone & De Pauw (1979), substrat dasar suatu perairan dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu a) dominasi lumpur, jika substrat dasar disusun oleh partikel yang ukurannya kurang dari dua mm. b) dominasi pasir, jika ukuran partikel antara 2-200 milimeter. c) dominasi batuan, jika ukuran partikelnya lebih dari 200 mm. Pada masing - masing tipe substrat di atas di huni oleh jenis hewan bentos tertentu. Contoh pada substrat yang di dominasi lumpur biasanya dihuni oleh kelompok Hirudinea, Oligochaeta dan Pelecypoda, sedangkan pada substrat berbatu biasanya dihuni oleh jenis Coleoptera, Trichoptera, Ephemeroptera, dan Mollusca (Giller dan Malmqvist, 2003).

Padatan total tersuspensi (*Total Suspended Solid atau TSS*) adalah bahan tersuspensi yang tertahan pada saringan milipore dengan diameter pori 0,45 μm . TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik, potongan – potongan kecil material organik, lumpur dan pasir halus yang tersuspensi dalam air. Bahan-bahan terlarut dan tersuspensi pada perairan alami tidak bersifat toksik, akan tetapi jika kelebihan, terutama TSS dapat meningkatkan nilai kekeruhan yang selanjutnya akan menghambat penetrasi cahaya ke dalam air dan akhirnya berpengaruh terhadap proses fotosintesis

dan komunitas biota perairan seperti bentos, ikan, dan fitoplankton (Effendi, 2003).

Setiap jenis bentos memiliki kisaran toleransi yang berbeda terhadap pH. Kehidupan organisme akuatik yang ideal dalam perairan termasuk makrozoobentos umumnya hidup pada kisaran pH 7 sampai 8,5. Kondisi perairan yang sangat asam ataupun basa akan membahayakan terhadap kelangsungan hidup organisme karena menyebabkan gangguan metabolisme dan respirasi. Kondisi pH yang rendah akan menyebabkan sifat toksik berbagai senyawa logam berat semakin tinggi yang tentunya akan mengancam kelangsungan hidup organisme akuatik, sebaliknya pH yang tinggi akan menyebabkan keseimbangan antara ammonium dan amoniak dalam air akan terganggu. Kenaikan pH di atas pH netral akan meningkatkan konsentrasi amoniak menjadi sangat toksik bagi organisme termasuk makrozoobentos (Barus, 2004).

Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) dibutuhkan oleh semua organisme untuk respirasi aerobik, namun sekitar 30 kali lebih sedikit tersedia dalam air daripada di udara. Oksigen masuk ke dalam air sebagian besar melalui difusi dari udara di permukaan air. Namun, kelarutan oksigen dalam air berkorelasi negatif dengan suhu air. Air murni dalam kesetimbangan dengan udara di atmosfer memiliki konsentrasi oksigen dari 12,77 mg.l⁻¹ pada 50°C tetapi hanya 8,26 mg.l⁻¹ pada 25°C (Wetzel, 2001). Secara umum, tingkat metabolisme dan kebutuhan oksigen invertebrata lebih tinggi pada suhu tertentu.

Masing-masing jenis memiliki kemampuan yang berbeda dalam pernapasan yang membutuhkan oksigen, yang dibuktikan oleh respon yang berbeda terhadap polusi organik yang dapat mengurangi kadar oksigen. Organisme juga menunjukkan pilihan yang jelas untuk perairan dingin mungkin dipengaruhi suhu dalam ketersediaan oksigen. Contohnya *Stoneflies*, hewan ini cenderung tidak ada pada suhu 25°C (Allan, 2001).

Pengaruh arus yang terus-menerus dapat memperbaharui air. Biota perairan bernafas dan bergerak dalam beberapa cara yang sangat tergantung pada ketersediaan oksigen. Organisme akuatik jauh lebih mungkin mengalami gangguan pernapasan pada air hangat dibandingkan air dingin. Kelarutan oksigen dalam air akan berkurang dengan meningkatnya suhu dalam air. Proses metabolisme organisme air, termasuk konsumsi oksigen, peningkatan suhu akan

mempengaruhi pernafasan pada suhu di atas 15°C. Ini adalah alasan utama mengapa pertumbuhan organisme air menurun pada suhu yang lebih tinggi (Allan, 2001.). Nilai BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) menyatakan banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme aerob dalam penguraian senyawa organik dalam suatu badan perairan. BOD dapat ditentukan setelah dilakukan inkubasi air sampel pada temperature 20°C selama lima hari (Barus, 2004).

Hamidah (1980) menyatakan bahwa untuk menguraikan senyawa organik yang terdapat di dalam limbah rumah tangga secara sempurna, mikroorganisme membutuhkan waktu sekitar 20 hari. Mengingat bahwa waktu selama 20 hari tersebut dianggap terlalu lama, maka pengukuran cukup dilakukan selama lima hari karena jumlah senyawa organik yang terurai sudah mencapai kurang lebih 70%. Semakin tinggi nilai BOD dalam air limbah atau dalam badan air umumnya menunjukkan semakin banyak jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik. Hal ini akan mengakibatkan kehidupan makrozoobentos di dasar perairan akan terganggu, karena oksigen terlarut yang harus digunakan oleh makrozoobentos terpakai untuk proses penguraian.