

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sungai

Menurut Sudaryanti (2002a), ekosistem perairan merupakan suatu unit ekologis yang mempunyai komponen biotik dan abiotik yang saling berhubungan di habitat perairan. Komponen biotik terdiri atas flora dan fauna, sedangkan komponen abiotik terdiri atas komponen tak hidup, misalnya air dan sifat fisik (misalnya kecepatan arus, tipe substrat, suhu air) serta kimianya (misalnya kandungan oksigen terlarut, kandungan amonia). Berdasarkan habitatnya, ekosistem perairan dibedakan menjadi ekosistem perairan tergenang (lentik) misalnya waduk dan ekosistem perairan mengalir (lotik), misalnya sungai. Perairan sungai adalah bagian dari daerah tangkap hujan, sehingga kondisi kualitas perairannya sangat dipengaruhi oleh aktivitas di daerah lahan kering yang dapat mengurangi nilai guna dari perairan sungai (Sudaryanti, 2003a)

Sungai sama halnya dengan habitat perairan lainnya yang dihuni oleh komunitas organisme dari jenis flora maupun fauna. Karena sungai memiliki dua jenis habitat yaitu jenis habitat riam dan bagian sungai yang berair tenang, maka dikenal adanya dua komunitas di sungai, yaitu komunitas riam dan komunitas yang hidup di bagian sungai yang berair tenang. Habitat lotik (riam) dibagi menjadi 2 zona yaitu (1) zonasi yang dingin, dangkal, substrat dasar sungai batuan atau kerikil atau liat ("silty"). Sungai-sungai dataran tinggi ("streams") ciri-cirinya adalah jernih, aliran air mengalir di atas kerikil yang dangkal ("riffle"). dan (2), adalah bagian yang lebih dalam, umumnya tergenang dan menjadi daerah akumulasi debris. Sungai-sungai di dataran rendah ("river") adalah berlumpur, lebih lebar, dan lebih dalam, umumnya tidak mempunyai "riffle" (Subarijanti, 2000).

Menurut Sudaryanti (1997) semua biota yang hidup di ekosistem sungai dipengaruhi oleh arus yang mengalir satu arah dari hulu menuju hilir dan beradaptasi

dengan kondisi seperti itu. Menurut Sudaryanti (2002b), berdasar sifat tropiknya, biota yang dominan hidup di ekosistem sungai adalah organisme heterotrof, artinya tidak dapat membuat makanan sendiri, yaitu makroinvertebrata benthik.

Menurut Sudaryanti (2003b), sungai yang sehat adalah sungai yang mampu mendukung proses ekologi sungai. Menurut Karr (1999) dalam Sudaryanti (2003b), sehat adalah kata lain untuk kondisi baik, sungai yang sehat adalah mempunyai ciri-ciri sungainya masih alami, cepat pulih apabila mengalami gangguan tanpa banyak bantuan manajemen, dan mampu mengenali resiko kerusakan. Sudaryanti (2001), menerangkan bahwa ekosistem sungai mengalami degradasi apabila ekosistem tersebut tidak dapat mendukung proses ekologis berlangsung secara normal. Degradasi ekosistem sungai dapat diketahui dari rusaknya habitat yang menjadi tempat hidup dari berbagai biota air yang hidup di dalamnya. Menurut PP RI no 82 tahun 2001, yang dimaksud pencemaran perairan adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan perairan oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya menurun sampai tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan perairan tidak sesuai lagi dengan baku mutu dan/atau fungsinya (Sudaryanti, 2003a).

2.2 Komunitas Makrozoobenthos

Menurut Barus (2002), semua organisme air yang hidupnya terdapat pada substrat dasar suatu perairan, baik yang bersifat sesil (melekat) maupun yang bersifat vagil (bergerak bebas) termasuk dalam kategori benthos. Berdasarkan sifat hidupnya dibedakan antara "fitobenthos", yaitu benthos yang bersifat tumbuhan dan "zoobenthos" yang bersifat hewan.

Menurut Trihadiningrum (2007), makroinvertebrata adalah semua jenis hewan air berukuran makroskopik yang tidak bertulang belakang yang tidak lolos saringan

berukuran 500 μm . Kelompok hewan ini hidup menempel pada substrat atau di dalam substrat, pada vegetasi air, dan pada benda-benda lain yang terdapat dalam badan air, atau melayang dalam air selama beberapa fase siklus hidup, atau selama siklus hidupnya.

Menurut Sudaryanti (1997), makrozoobentos terdiri atas komunitas fauna yang besar dan mempunyai keanekaragaman yang tinggi di ekosistem perairan sungai yang tidak tercemar. Menurut Barus (2002), umumnya benthos yang sering dijumpai di suatu perairan adalah dari taksa Crustacea, Moluska, Insekta dan sebagainya. Benthos tidak saja berperan sebagai penyusun komunitas perairan, tetapi juga dapat digunakan dalam studi kualitatif untuk mengetahui kualitas suatu perairan.

Menurut Abel (1989) *dalam* Sudaryanti dan Marsoedi (1995), komunitas makrozoobenthos dapat digunakan untuk menduga kualitas air sungai karena hidup menetap di dasar perairan, siklus hidupnya yang panjang dan mempunyai keanekaragaman jenis. Karena pergerakannya terbatas, makrozoobenthos dipengaruhi langsung oleh beban masukan yang diterima oleh perairan, akibatnya terjadi perubahan dalam komunitasnya. Perubahan komunitas ini dapat mencerminkan keadaan kualitas air yang menjadi lingkungan hidupnya.

Menurut Barus (2002), ada beberapa alasan dalam pemilihan benthos sebagai indikator kualitas di suatu ekosistem air, yaitu:

1. pergerakan yang sangat terbatas sehingga memudahkan dalam pengambilan contoh
2. ukuran tubuh relatif besar sehingga relatif mudah diidentifikasi
3. hidup di dasar perairan serta relatif diam sehingga secara terus-menerus terdedah oleh kondisi air sekitarnya
4. pendedahan yang terus-menerus mengakibatkan benthos sangat terpengaruh oleh berbagai perubahan lingkungan yang mempengaruhi kondisi air tersebut

5. perubahan faktor-faktor lingkungan ini akan mempengaruhi keanekaragaman komunitas benthos

Menurut Hellowel (1978), dalam Sudaryanti (1997), makrozoobenthos adalah biota yang paling sering digunakan untuk memantau kesehatan kualitas air sungai karena hidupnya relatif menetap di dasar perairan, mempunyai siklus hidup yang panjang, dan pengambilan contohnya relatif mudah.

Menurut Barus (2002), suatu perairan yang belum tercemar akan menunjukkan jumlah individu yang seimbang dari hampir semua spesies yang ada. Sebaliknya suatu perairan yang tercemar akan menyebabkan penyebaran jumlah individu tidak merata dan cenderung ada spesies tertentu yang bersifat dominan.

Menurut Sudaryanti (1992) dalam Sudaryanti (2003b), penggunaan komunitas makroinvertebrata untuk penilaian kualitas air sungai dengan "bioassessment" menggunakan pendekatan analisis komunitas, artinya ketersediaan komposisi dari berbagai makroinvertebrata yang ditemukan dari "site" sungai sudah dapat digunakan untuk menilai kondisi kualitas air sungai

Menurut Sudaryanti (1997), sebagian Insekta, Oligocheta, cacing Nematode, crustacean, dan molluska banyak dijumpai sebagai komponen yang menyusun benthos sungai, dan organisme yang paling besar adalah insekta ordo Trichoptera ("caddishflies"), Plecoptera ("stoneflies"), Ephemeroptera ("mayflies"), Odonata ("dragonflies"), cacing oligochaeta, dan beberapa "snail" (Moluska). Pada batuan dan cabang-cabang arus yang cepat, larva "blackflies" (Simuliidae) sering melimpah.

2.3 Faktor yang mempengaruhi Distribusi Makrozoobenthos

2.3.1 Arus

Menurut Barus (2002), pada perairan lotik arus mempunyai peranan yang sangat penting. Hal ini berhubungan dengan penyebaran organisme, gas-gas terlarut dan

mineral yang terdapat di dalam air. Kecepatan arus di suatu ekosistem air sangat berfluktuasi dari waktu ke waktu tergantung dari fluktuasi debit dan aliran air dan kondisi substrat yang ada. Pengaruh arus terhadap organisme yang paling penting adalah ancaman bagi organisme tersebut dihanyutkan oleh arus yang deras.

Kecepatan arus dapat bervariasi amat besar di tempat yang berbeda dari suatu aliran air yang sama (membujur ataupun melintang dari poros arah aliran) dan dari waktu ke waktu. Di dalam aliran air yang besar atau sungai, arus dapat berkurang sedemikian rupa sehingga menyerupai kondisi air yang tergenang. Kecepatan arus dipengaruhi oleh kemiringan, kekasaran, kedalaman, dan kelebaran dasarnya (Odum, 1993).

Menurut Ward (1992), morfologi dan kebiasaan adaptasi serangga akuatik terhadap arus dapat berupa

1. Tubuh rata atau pipih bertujuan untuk menghindari arus (meletakkan diri pada celah) contohnya Psephenidae (Coleoptera), Heptageniidae (Ephemeroptera)
2. Ukuran tubuh kecil bertujuan untuk menghindari arus (meletakkan diri pada celah) contohnya Elmidae (Coleoptera)
3. Bentuk tubuh "streamline" berfungsi untuk bentuk yang "fusiform" dan garis luar tubuh yang halus untuk memperkecil daya melawan arus contohnya Baetidae (Ephemeroptera)
4. Penghisap berfungsi untuk alat merapat pada permukaan yang halus contohnya Blephariceridae (Diptera)
5. Bantalan gesek berfungsi untuk menambah kontak tubuh terhadap substrat contohnya Rhithrogenia (Ephemeroptera), Psephenidae (Coleoptera)
6. Cakar dan pengait berfungsi untuk mengurangi kesempatan terpindah oleh arus contohnya Diamesina (Diptera), Elmidae (Coleoptera)

7. Sekresi zat lengket dan lembut bertujuan untuk melekat pada objek di arus cepat contohnya Psychomiidae (Tricoptera)
8. Pemberat bertujuan untuk mengurangi daya apung contohnya Silo (Tricoptera)
9. "Rheotaxis" positif bertujuan untuk mengurangi kecelakaan perpindahan tempat atau hanyut contohnya *Leptophlebia cupida* (Ephemeroptera)
10. Fototaksis negatif bertujuan mencari tempat gelap yang terlindung dari arus contohnya Heptageniidae (Ephemeroptera)

Menurut Welch (1980), kecepatan arus dapat dibagi dalam 5 kelompok, yaitu:

- a. Kecepatan arus > 100 cm/detik : tergolong sangat cepat
- b. Kecepatan arus $50 - 100$ cm/detik : tergolong cepat
- c. Kecepatan arus $25 - 50$ cm/detik : tergolong sedang
- d. Kecepatan arus $10 - 25$ cm/detik : tergolong lambat
- e. Kecepatan arus < 10 cm/detik : tergolong sangat lambat

Menurut hasil penelitian Pertiwi *et al.*, (2003), makrozoobentos yang ditemukan pada arus $10 - 25$ cm/detik didominasi: Tubificidae, Dysticidae dan Richardsionidae, sedangkan arus $25 - 50$ cm/detik didominasi Branchiura, Grapsidae, Helodidae, sedangkan arus $50 - 100$ cm/detik makrozoobentos yang mendominasi antara lain: Blepharoceridae, Perlodidae dan Hydrobidae.

2.3.2 Suhu

Menurut Barus (2002), dibandingkan dengan udara, air mempunyai kapasitas panas yang lebih tinggi. Pengukuran suhu air mutlak dilakukan karena berbagai jenis gas di dalam air serta semua aktivitas biologis fisiologis di dalam suatu ekosistem air sangat dipengaruhi oleh suhu. Menurut hukum *VAN'T HOFFS*, kenaikan suhu sebesar 10 °C (hanya pada kisaran suhu yang masih ditolerir) akan meningkatkan laju metabolisme dari organisme sebesar 2-3 kali lipat. Akibat meningkatnya laju

metabolisme, akan meningkatkan konsumsi oksigen meningkat sementara kelarutan oksigen dalam air berkurang. Hal ini dapat menyebabkan organisme sulit melakukan respirasi.

Menurut Mahida (1992), suhu air berbeda-beda sesuai dengan iklim dan musim. Ukuran-ukuran suhu berguna dalam memperlihatkan kecenderungan aktifitas-aktivitas kimiawi dan biologi. Tingkat oksidasi bahan organik jauh lebih besar selama musim panas daripada selama musim dingin.

Menurut Effendi (2003), suhu pada suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang ("latitude"), ketinggian dari permukaan laut ("altitude"), waktu dalam hari, sirkulasi udara, penutupan awan dan aliran serta kedalaman badan air. Kisaran suhu yang optimum bagi organisme di perairan adalah 20°C-30°C.

Menurut Mulyanto (1992), suhu di saluran utama dari sungai hampir tidak pernah mengalami stratifikasi karena adanya pencampuran air akibat turbulensi yang berhubungan dengan aliran air. Sebaliknya stratifikasi dapat terjadi di badan air dengan daerah genangan dan terjadi secara nyata tanpa adanya angin. Perairan yang dinaungi pohon suhunya lebih rendah dan cenderung seragam dibanding daerah yang terbuka, berhubungan secara langsung dengan sinar matahari.

Pola suhu ekosistem air dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti intensitas cahaya matahari, perukaran panas antara air dengan udara sekelilingnya, ketinggian geografis dan juga oleh faktor kanopi (penutupan oleh vegetasi) dari pepohonan yang tumbuh di tepi (Brehm & Meijering, 1990 dalam Barus 2002).

Menurut Ward (1992), efek dari suhu terhadap fekunditas dan respon telur-telur terhadap kondisi termal mempengaruhi pola distribusi serangga akuatik dan posisi persaingan dari spesies lokal. Suhu mungkin mempengaruhi periode inkubasi telur, keberhasilan penetasan, dan durasi penetasan. Beberapa investigasi terakhir pada pengaruh suhu terhadap telur serangga akuatik memiliki hubungan dengan

Ephemeroptera dan Plecoptera. Selain itu, suhu juga mempengaruhi siklus hidup organisme dimana pada suhu rendah pertumbuhan organisme lambat (Hynes, 1972).

Menurut Sudaryanti (1995), suhu di sungai Brantas berbeda antara sungai bagian hulu dan sungai bagian hilir, berkisar antara 14 – 31 °C. Makrozoobenthos yang memiliki toleransi terhadap suhu rendah (14 °C) yaitu *Perla* sp., Perlodidae dan Lepidostomatidae. Sedangkan makrozoobenthos yang memiliki toleransi terhadap suhu tinggi (31 °C) adalah Chironomidae dan Tubificidae.

2.3.3 Tipe Substrat

Menurut Odum (1993), arus adalah faktor pembatas utama pada aliran deras, tetapi dasar yang keras, terutama yang terdiri dari batu, dapat menyediakan permukaan yang cocok bagi organisme untuk menempel atau melekat. Menurut Hynes (1972), substrat merupakan tempat hidup bagi invertebrata benthik. Tipe substrat dapat mengontrol invertebrata benthik yang ada di perairan. Hampir kebanyakan penelitian mengungkapkan dan mempelajari tentang tempat tinggal invertebrata, dan menyatakan bahwa secara pasti spesies yang ada tersebut dibatasi oleh tipe substratnya. Jenis substrat bervariasi dari satu tempat ke tempat lainnya demikian juga fauna yang mendiami tempat tersebut. Secara umum dapat dikatakan bahwa batu yang lebih besar, dan semakin kompleks lapisan bawah, maka berbeda pula jenis invertebratnya.

Menurut Hawkes (1975) dalam Sudaryanti (1995), di bagian "rithron", yaitu hulu sungai pegunungan yang merupakan bagian ekosistem, kecepatan arusnya tinggi dan substratnya tersusun oleh "stones", "gravel", dan "sand".

Menurut Sudaryanti (1997), substrat dibagi ke dalam beberapa jenis ukuran diameter substrat, yaitu:

Tabel 2. Jenis dan Ukuran Substrat

Nama Jenis Substrat	Kisaran Ukuran (mm)
Batu bundar besar ("boulders")	Lebih dari 256 (skor 6)
Batu kecil ("cooble")	64 – 256 (skor 5)
Kerikil besar ("pebble")	16 – 64 (skor 4)
Kerikil kecil ("gravel")	2 – 16 (skor 3)
Pasir ("sand")	0,06 – 2 (skor 2)
Lumpur ("silt")	0,004 – 0,06 (skor 1)

Sudaryanti (1995), mengelompokkan makrozoobenthos yang hidup pada substrat yang didominasi batu dan kerikil antara lain : Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera, Coleoptera, Gastropoda dan Planaria. Sedangkan pada substrat yang tersusun oleh tipe lunak atau berlumpur karakteristik makrozoobenthosnya antara lain Tubificidae, Chironomidae, Prosobranchia, Unionidae, dan Sphaeriidae.

2.3.4 Oksigen Terlarut

Menurut Effendi (2003), oksigen merupakan salah satu gas yang terlarut dalam perairan. Kadar oksigen yang terlarut di perairan alami bervariasi, tergantung pada suhu, salinitas, turbulensi air, dan tekanan atmosfer. Kadar oksigen terlarut juga berfluktuasi secara harian ("diurnal") dan musiman, tergantung pada pencampuran ("mixing") dan pergerakan ("turbulence") massa air, aktivitas fotosintesis, respirasi, limbah ("effluent") yang masuk ke badan air.

Transfer oksigen dari udara ke perairan terjadi melalui proses difusi dan penghilangan oksigen dari perairan ke udara akan terjadi jika kondisi jenuh belum tercapai. Difusi oksigen dari atmosfer ke dalam air dapat terjadi secara langsung pada kondisi air diam. Difusi juga dapat terjadi karena agitasi atau pergolakan massa air

akibat adanya gelombang atau ombak dan air terjun. Di perairan tawar, kadar oksigen terlarut berkisar antara 15 mg/liter pada suhu 0°C dan 8 mg/liter pada suhu 25°C, kadar oksigen terlarut pada perairan alami biasanya kurang dari 10 mg/liter.

Menurut Schmitz (1971) *dalam* Mulyanto (1995), berdasarkan kandungan oksigen terlarut kualitas air perairan dapat digolongkan menjadi sangat baik dengan kondisi oksigen terlarut 8 mg/liter, baik 6 mg/liter, kritis 4 mg/liter, buruk 2 mg/liter dan sangat buruk < 2 mg/liter. Menurut Barus (2002), pengaruh oksigen terhadap fisiologis organisme terutama adalah dalam proses respirasi. Berbeda dengan faktor temperatur yang mempunyai pengaruh yang merata terhadap fisiologis semua organisme air, konsentrasi oksigen terlarut dalam air hanya berpengaruh secara nyata terhadap organisme air yang memang mutlak membutuhkan oksigen terlarut untuk respirasinya.

Menurut Sudaryanti dan Marsoedi (1995), makrozoobenthos yang memiliki toleransi terhadap oksigen terlarut 3,1 – 5 mg/liter meliputi taksa dari Trichoptera, Molluska, Ephemeroptera dan Insekta lebih dominan, sedangkan untuk makrozoobenthos yang memiliki toleransi oksigen terlarut < 3 mg/liter meliputi taksa dari Odonata, Lepidoptera, Moluska, *Chironomous thummi*, dan Tubificidae.

2.3.5 “Total Organic Matter”

Bahan organik yang membusuk di ekosistem sungai mempunyai peranan yang lebih besar dibandingkan danau (Goldman dan Horne, 1994 *dalam* Sudaryanti, 1997). Menurut Sudaryanti (1997), bahan organik dibedakan berdasarkan ukuran dan kelarutannya. Pembagian ini berguna untuk menggambarkan rantai pakan di perairan sungai mengalir. Terdiri dari “allochthonous organik particulate”, misalnya daun-daun yang mati dan ranting yang jatuh ke dalam sungai yang disebut CPOM, yaitu partikel yang mempunyai diameter lebih besar dari 1 mm. Sebaliknya, FPOM mempunyai diameter partikel kurang dari 1 mm. Bahan organik terlarut (DOM) tercuci dari tanah

atau partikel juga merupakan hasil ekskresi dari fauna sungai. Di sungai CPOM diuraikan oleh kegiatan hewan dan mikroba menjadi FPOM, dan dari FPOM menjadi DOM. Sebagian besar makrozoobentos mendapatkan sedikit nutrisi dari CPOM, sampai kemudian CPOM mengalami modifikasi oleh aktivitas manusia menjadi FPOM.

Menurut Sawyer dan McCarty (1978) dalam Effendi(2003), semua bahan organik mengandung karbon (C) berkombinasi dengan satu atau lebih elemen lainnya. Bahan organik berasal dari tiga sumber utama sebagai berikut

1. Alam, misalnya fiber, minyak nabati dan hewani, lemak hewani, alkaloid, selulosa, kanji, gula dan sebagainya.
2. Sintesis, meliputi semua bahan organik yang diproses oleh manusia.
3. Fermentasi, misalnya alkohol, aseton, gliserol, antibiotika, dan asam; yang semua diperoleh melalui aktivitas mikroorganisme.

Menurut Sudaryanti (1997), berdasarkan tipe makanannya kelompok invertebrate dibagi dalam 4 "functional feeding group" (FFGs) yaitu "shreeders", "grazers", "collector", dan "predator", yang komposisinya berubah ke arah hilir berkaitan dengan sumber makanannya. "Coarse Particulate Organik Matter" (CPOM) merupakan makanan utama bagi "shredders" seperti "crayfish" dan beberapa "stoneflies" yang hidup di order 1-3. "Fine Particulate Organik Matter" (FPOM) dihasilkan oleh pemakan CPOM dan mendominasi sungai order 4-7. Pada kondisi ini input bahan kasar dari daerah pinggiran sungai di daerah hulu sungai menurun. "Collector" sedimen atau species "filtering" air seperti larva nyamuk dan caddisflies memakan FPOM. Jika sungai mendekati hilir akan semakin lebar, maka masukan "allochtonous" CPOM menurun, begitu pula FPOM menurun. Tetapi, "autochtonous" yang berasal dari produksi primer oleh alga yang menempel dan macrophyta akan memberikan beberapa CPOM untuk "grazers", hal ini terutama penting di daerah pertengahan sungai antara hulu dan hilir sungai. Akhirnya pada daerah pembelokkan aliran sungai (order 8-12) FPOM dan

bahan organik terlarut (DOM) yang tersedia tidak sesuai lagi sebagai makanan untuk sebagian besar organisme perairan. Menurut Pertiwi *et al.*, (2003), nilai bahan organik total dalam perairan di bawah 29 mg/l dikatakan rendah.

2.3.6 Amonia

Sumber makanan manusia dan hewan pada umumnya dapat dikelompokkan kedalam 3 jenis tipe zat nutrisi yaitu: karbohidrat, lemak, dan protein. Dengan demikian kandungan limbah domestik pada umumnya juga terdiri dari ketiga jenis zat nutrisi tersebut. Produk penguraian karbohidrat dianggap tidak mempunyai masalah yang serius bagi ekosistem perairan, karena berbagai jenis bakteri dan jamur dapat mengkonsumsinya. Yang dapat menimbulkan masalah adalah produk dari penguraian zat nutrisi lemak dan terutama protein yang berupa amonium (NH_4) atau amonia (NH_3). Dari hasil penelitian diketahui bahwa keseimbangan antara amonium dan amonia di dalam air sangat dipengaruhi oleh nilai pH air (Barus, 2002).

Menurut Effendi (2003), nitrogen dalam perairan dapat berupa nitrogen organik dan anorganik. Nitrogen anorganik terdiri atas amonia (NH_3), amonium (NH_4), nitrit (NO_2), nitrat (NO_3), dan molekul nitrogen (N_2) dalam bentuk gas. Nitrogen organik dapat berupa protein, asam amino, dan urea. Amonia (NH_3) dan garam-garamnya bersifat mudah larut dalam air. Ion amonium adalah bentuk transisi dari amonia. Sumber amonia di perairan adalah pemecahan nitrogen organik (protein dan urea) dan nitrogen anorganik yang berada dalam tanah dan air, yang berasal dari dekomposisi bahan organik (tumbuhan dan biota akuatik yang telah mati) oleh mikroba dan jamur.

Tinja dari biota akuatik yang merupakan limbah aktivitas metabolisme juga banyak mengeluarkan amonia. Sumber amonia yang lain adalah reduksi gas nitrogen yang berasal dari proses difusi udara atmosfer, limbah industri, dan domestik. Amonia yang terukur di perairan berupa amonia total (NH_3 dan NH_4). Amonia bebas tidak dapat

terionisasi sedangkan amonium dapat terionisasi. Persentase amonia bebas meningkat dengan meningkatnya nilai pH dan suhu perairan. Pada pH 7 atau kurang, sebagian besar amonia akan mengalami ionisasi. Sebaliknya pada pH lebih besar dari 7, amonia tak terionisasi yang bersifat toksik terdapat dalam jumlah yang lebih banyak.

Menurut Ghufran *et al.*, (2007), makin tinggi pH air tambak atau kolam, daya racun amonia semakin meningkat, sebab sebagian besar berada dalam bentuk NH_3 , sedangkan amonia dalam bentuk molekul (NH_3) lebih beracun daripada yang berbentuk ion (NH_4). Amonia dalam bentuk molekul dapat menembus bagian membran sel lebih cepat daripada ion NH_4 .

Kadar amonia dalam perairan alami biasanya kurang dari 0,1 mg/liter (Mc Neely *et al.*, dalam Effendi 2003). Kadar amonia bebas yang tidak terionisasi (NH_3) pada perairan tawar sebaiknya tidak lebih dari 0,02 mg/liter. Jika kadar amonia bebas lebih dari 0,2 mg/liter, perairan bersifat toksik bagi beberapa jenis ikan. Amonia tak terionisasi lebih mudah terserap ke dalam tubuh organisme akuatik dibanding amonium (Tebbut, 1992 dalam Effendi 2003).

Menurut Suropto (2007), makrozoobentos yang ditemukan berdasar kandungan amoniannya adalah sebagai berikut:

1. Kandungan amonia (0,12 – 13 mg/liter) ditemukan Baetidae, Chironomidae (pupa), *Chironomous thummi*, Hydropshycidae, Grapsidae, Lumbricullidae, Nereidae, Richardsonidae, Simullidae dan Tanypodinae.
2. Kandungan amonia (0,22 – 0,44 mg/liter) ditemukan berupa Coleoptera, Chironomiae (pupa), *Chironomous thummi*, Glossiphonidae, Grapsidae, Muscidae, Nereidae, Lumbricullidae dan Physidae.
3. Kandungan amonia (0,47 – 0,88 mg/liter) ditemukan Chironomidae (pupa), *Chironomous thummi*, Hydrobidae, Nereidae, Richardsomanidae, Psychodidae,

Tanyponidae, Branchiura, Hydropshycidae, Thiaridae, Lumbricullidae, Orthocladinae, Sundathelphusidae, *Tubifex* sp.

2.3.7 pH (Derajat Keasaman)

Menurut Ghufran *et al.*, (2007), derajat keasaman lebih dikenal dengan istilah pH. pH (singkatan dari "puissance negatif de H") yaitu logaritma dari kepekaan ion-ion H (Hidrogen) yang terlepas dalam suatu cairan. Derajat keasaman air menunjukkan aktivitas ion hidrogen dalam larutan tersebut dan dinyatakan sebagai konsentrasi ion Hidrogen (dalam mol per liter) pada suhu tertentu.

Menurut Goldman dan Horne (1994) derajat keasaman atau alkalinitas yang terukur disebut pH, sebuah skala eksponensial antara 1-14. Menurut Mackereth *et al.*, (1989) dalam Effendi (2003), berpendapat bahwa pH juga berkaitan erat dengan karbondioksida dan alkalinitas. Pada pH < 5, alkalinitas dapat mencapai nol. Semakin tinggi pH, semakin tinggi pula nilai alkalinitas dan semakin rendah kadar karbondioksida bebas.

Menurut Effendi (2003), pH juga mempengaruhi toksisitas suatu senyawa kimia. Senyawa amonium yang dapat terionisasi banyak ditemukan pada perairan yang memiliki pH rendah. Amonium tidak bersifat toksik, namun pada suasana alkalis (pH tinggi) lebih banyak ditemukan amonia yang tidak terionisasi dan bersifat toksik.

Menurut Pertiwi *et al.*, (2003), berdasarkan pH, makrozoobentos yang ditemukan pada pH 7,5 – 8 antarlain : Branchiura, Tubificidae, Simulidae, Chironomidae, Hydropshycidae, Dryopidae, Planariidae, Paramelitidae, Lampyridae, *Limnius* sp., *Stenelmies* sp., Leptophlebiidae, Baetidae, Ceratopogonidae, Glossosomatidae, Tipulidae, Caenidae. Sedangkan pada pH >8 ditemukan taksa Dryopidae, Simulidae, Chironomidae, Baetidae, Leptophlebiidae, Lepidostomatidae, Glossosomatidae, *Stenelmies* sp., Hydropshycidae, dan Limnephilidae.

2.3.8 Kesadahan

Menurut Effendi (2003), kesadahan (“hardness”) adalah gambaran kation logam divalen. Kation-kation ini dapat bereaksi dengan sabun membentuk endapan maupun dengan anion-anion yang terdapat dalam air membentuk endapan. Menurut Hariyadi *et al.*, (1992), kesadahan pada dasarnya menggambarkan kandungan ion kalsium dan magnesium serta ion besi, aluminium, mangan, stronsium, seng, dan hidrogen yang terlarut dalam air. Tetapi karena hanya kalsium dan magnesium yang terdapat relatif besar, sedangkan ion-ion logam lainnya ada dalam jumlah sedikit, maka biasanya kesadahan dapat dianggap hanya menggambarkan kandungan kalsium dan magnesium yang terlarut dalam air.

Menurut Barus (2002), kalsium dan magnesium merupakan unsur kation yang penting dalam ekosistem air. Ratio antara Ca ; Mg dalam perairan tawar yang tidak tercemar menurut Brehm dan Meijering (1990) adalah sebesar 4-5 : 1. Pada ekosistem air yang miskin mineral, ratio Ca : Mg berubah menjadi sebesar 10 : 2.

2.4 Ordinasi

Apabila 2 faktor lingkungan atau biologis mempunyai korelasi, variabel yang satu akan memberikan informasi mengenai variabel yang lain. Informasi ini diperoleh apabila menggunakan teknik ordinasi. Tujuan ordinasi adalah mengurangi kompleksitas data multivariat dan mengeluarkan variabel yang tidak mempunyai korelasi dari data yang mempunyai korelasi (Norris dan Georges ,1993 *dalam* Sudaryanti, 1997).

Permasalahan yang sering dihadapi dalam studi komunitas ekologi adalah penggunaan “univariat analysis” yang kurang memuaskan, sebab hasil analisis perbedaan beberapa variabel tidak nyata berdasarkan “univariat analysis” ternyata menggunakan “multivariat analysis” perbedaan menjadi sangat nyata. Teknik

"multivariat anaysis" menganggap bahwa setiap organisme mempunyai sumbangan terhadap suatu "site" dan waktu. Karena itu "multivariat analysis" memberikan interpretasi yang bermanfaat untuk deteksi perubahan spasial dan temporal komunitas makrozoobenthos. Pengaruh lingkungan terhadap komunitas hidup adalah kompleks, karena itu seharusnya dianalisis menggunakan multivariat. Klasifikasi dan ordinasasi adalah teknik multivariat untuk membuat penyederhanaan dari keadaan alam yang kompleks (ter Braak ,1986 *dalam* Sudaryanti ,1997),.

Menurut Sudaryanti (1998), program CANOCO, CCA (Canonical Correspondence Analysis) tujuannya menggunakan biota dalam hal ini makroinvertebrata dan faktor ekologisnya secara bersama-sama untuk mengelompokkan stasiun-stasiun pengamatan. Menurut Sudaryanti (2003b), keluaran analisis CCA selain mendapatkan kelompok stasiun pengamatan yang mempunyai kesamaan karakter makroinvertebrata dan faktor ekologisnya juga mendapatkan keeratan hubungan antara komunitas makroinvertebrata dengan faktor ekologisnya.

Teknik ordinasasi menggunakan CCA telah diterapkan oleh Sudaryanti (1995), Handayani (2008) di Sungai Jilu, Tantalu (2008) di Sungai Biru, Yuniwati (2008), dan Amalia (2010) di Anak-anak Sungai DAS Brantas Hulu. Tabel 2 menunjukkan bahwa Leptoplebiidae dan Platycnemididae mewakili habitat yang tercemar sedang. Begitu juga dari Tabel 3 dapat diketahui bahwa Lepidostomatidae dan Glossosomatidae merupakan indikator perairan sehat. Tabel 4 dan 5 menampakkan Tubificidae dan *Chironomous thummi* mewakili habitat yang tercemar berat. Menurut Untung *et al.*, (1996), Studi "bioassessment" menggunakan makrozoobenthos digunakan untuk kepentingan konservasi perlindungan sungai.

Tabel 3. Hasil Penelitian Ordinasasi Sungai Jilu Menggunakan Analisis CANOCO

Nama Sungai	Fisika-Kimia	Ordinasi	Kisaran nilai	Makrozoobenthos yang Ditemukan	Status Perairan	Sumber
Sungai Jilu Kecamatan Jabung dan Kecamatan Pakis Kabupaten Malang	Kecepatan arus (cm/s)	A	37 – 57	Ordinasi A : Hemiptera, Caenidae, Leptoplebiidae, Libellulidae, Platynemididae, dan <i>Chironomus Thummi</i> . Ordinasi B : Lepidostomatidae, Glossosomatidae, Perlidae, Psychomyiidae, Gammaridae	Ordinasi A : Terdegradasi (Stasiun V, VI, VIII, X, XII, XIII, XV di Desa Pandansari Lor, Sukopuro, Gading Kembar, dan Pakis Kembar) Ordinasi B : Terdegradasi ringan (stasiun I, II, III, IV, VI di Desa Pandansari Lor, Sukopuro, Gading Kembar)	Handayani, (2008)
		B	39 – 55			
	Substrat	A	“cobble”, “pebble”, “sand”			
		B	“cobble”, “sand”			
	Suhu (°C)	A	21 – 25			
		B	21 – 23,5			
	DO (mg/l)	A	6,58 – 8,4			
		B	6,99 – 8,21			
	pH	A	7			
		B	6 – 7			
	TOM (mg/l)	A	1,26 – 7,58			
		B	2,53 – 10,1			
	Amonia (mg/l)	A	0,12 – 0,17			
		B	0,10 – 0,17			
Kesadahan (mg/l)	A	38 – 64				
	B	48 – 60				

Tabel 4. Hasil Penelitian Ordinasasi Sungai Biru Menggunakan Analisis CANOCO

Nama Sungai	Fisika-Kimia	Ordinasi	Kisaran nilai	Makrozoobenthos yang Ditemukan	Status Perairan	Sumber
Sungai Biru Desa Tulungrejo Kecamatan Bumiaji Kota Batu	Kecepatan arus (cm/s)	A	37 – 38	Ordinasi A : Epydridae, Argonella, Limnephilidae, Blepharoceritidae, Elmidae larva, Glossosomatidae, Leptoceridae, Perlidae, Philopotamidae, Heptagenidae, Gyrinidae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Muscidae, Haplotaenidae, Noctuidae Ordinasi B : Hydropsychidae, Simuliidae, Planorbidae, Ceratopogonidae, Tricladida, Lepidostomatidae, Lumbriculidae, Tanypodinae, Orthoclaadiinae, Coleoptera, Psychomyiidae, Gerridae, Hydrobiidae	Ordinasi A : Sehat (stasiun I, II, III, IV, VII, IX, X di Desa Tulungrejo) Ordinasi B : Terdegradasi bahan organik (stasiun V, VI, VIII, IX, XII, XIII, XIV, XV di Desa Tulungrejo)	Tantalu (2008)
		B	33 – 48			
	Substrat	A	“Boulder”, “Cobble”, “Pebble”			
		B	“Gravel”, “Sand”, “Silt”, “Clay”			
	Suhu (°C)	A	15 – 16			
		B	14 – 21			
	DO (mg/l)	A	6,9 – 9,4			
		B	6,5 – 7,7			
	pH	A	6 – 7			
		B	6 – 7			
	TOM (mg/l)	A	0 – 5,05			
		B	0 – 6,32			
	Amonia (mg/l)	A	0,14 – 0,17			
		B	0,13 – 0,19			
Kesadahan (mg/l)	A	20 – 34				
	B	20 – 40				

Tabel 5. Hasil Penelitian Ordinasinya Anak Sungai Brantas Menggunakan Analisis CANOCO

Nama Sungai	Fisika-Kimia	Ordinasi	Kisaran nilai	Makrozoobenthos yang Ditemukan	Status Perairan	Sumber
Anak Sungai Brantas Hulu di Desa Sumber Brantas dan Tulungrejo Kecamatan Bumiaji	Kecepatan arus (cm/s)	A	27 – 118	Ordinasi A : Lepidostomatidae, Glossosomatidae, Philopotamidae, Ordinasi B : <i>Chironomus thummi</i> dan Tubificidae	Ordinasi A : Terdegradasi ringan (stasiun III, XIII, XIV, XV di Desa Sumber Brantas hingga Dusun Sidorejo Desa Tulungrejo) Ordinasi B : Terdegradasi berat (stasiun I, II, IV, V, VI, VII, IX, X, XI, XII di Desa Sumber Brantashingga Dusun Sidorejo Desa Tulungrejo)	Yuniwati, (2008)
		B	25 – 70			
	Substrat	A	“Boulder”, “Cobble”, “Pebble”, “Silt”			
		B	“Boulder”, “Gravel”, “Silt”			
	Suhu (°C)	A	16 – 20			
		B	17 – 20			
	DO (mg/l)	A	7,4 – 10,3			
		B	6,64 – 10,1			
	pH	A	6 – 8			
		B	6 – 7			
	TOM (mg/l)	A	1,26 – 8,85			
		B	6,64 – 10,1			
	Amonia (mg/l)	A	0,11 – 0,15			
		B	0,08 – 0,2			
Kesadahan (mg/l)	A	29 – 124				
	B	36 – 186				

Tabel 6. Hasil Penelitian Ordinasinya Sungai Gebyak Menggunakan Analisis CANOCO

Nama Sungai	Fisika-Kimia	Ordinasi	Kisaran nilai	Makrozoobenthos yang Ditemukan	Status Perairan	Sumber
Sungai Gebyak Desa Tawang Sari Kecamatan Pujon	Kecepatan arus (cm/s)	A	47,19 – 94,37	Ordinasi A : Coenagrionidae, Viviparidae, Limoniidae, Physidae, Baetidae, Lumbricidae, Hydropsychidae, Gammaridae, Dytiscidae, Platambus, Orthocladinae, Grapsidae, Hydrobiidae, Simuliidae dan <i>Chironomous thummi</i> Ordinasi B : Atyidae, Haplotaenidae, Plathycnemididae, Mesoveliidae, Psychodidae, Naididae, <i>Chironomous thummi</i> , Ephydriidae, Sundathelphusidae, Elmidae dan Pyralidae	Ordinasi A : Tercemar berat (stasiun I, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII di Dusun Bunder dan Dusun Gerih Desa Tawang Sari) Ordinasi B : Tercemar Berat (lebih berat) Stasiun II, III, VI, V di Dusun Bunder dan Dusun Gerih Desa Tawang Sari	Amalia, (2010)
		B	32,68 – 66,67			
	TOM (mg/l)	A	4,42 – 135,25			
		B	5,06 – 68,89			
	Amonia (mg/l)	A	0,18 – 0,37			
		B	0,19 – 0,52			
	Naungan Kanan (%)	A	50 – 70			
		B	40 – 70			
	Naungan Kiri (%)	A	40 – 70			
		B	30 – 60			
	Lokal NPS	A	Potensial – Jelas			
		B	Jelas			