

BENTIK MAKROINVERTEBRATA SEBAGAI BIOINDIKATOR POLUSI LAHAN PERAIRAN

Sabaruddin Wagiman Tjokrokusumo

Peneliti Ekoteknologi
Badan Penerapan dan Pengkajian Teknologi

Abstract

Inline with increasing population growth and progressive development in Indonesia, implementation of environmental regulation and enforcement of environmental law, aquatic ecosystem was impacted by wastewater pollution from several sources, including point and non-point sources of pollution. Aquatic pollution could be seen physically and can be traced through chemical and biological monitoring. Biologically water pollution can be detected through occurrence of flora and fauna of stream dwelling organisms because they were interacted physically and adapted with daily pollution materials and wastewater loadings. Stream dwelling flora and fauna either benthic macro and micro organisms have ability to adapt and assimilate pollution based on their sensitivities. Therefore their variable sensitivities can be used for approaching water pollution index. Hynes (1977) stated that water flora and fauna can be used as indicators of water pollution, such as algae, bacteria, protozoa, macroinvertebrates, and fish. However, a group of macroinvertebrates has been used for biomonitoring for decades, because of their habitat preferential factors, their slow mobility, biodiversity, and sensitivity. In addition, macroinvertebrates can be seen with naked eyes or using only with simple devices. A macroinvertebrate is an organism without backbone dwelling water ecosystem as its niche and habitat. This animal is ubiquitous in freshwater habitat, and also in brackish water and even in marine environment. An effort to use this biota as indicator of water pollution has been attempted in foreign countries such as Europe, America and Australia, and even South Africa. We believe that this kind of method can be applied one day in Indonesia.

Key words: *water pollution, stream's dwelling flora and fauna, benthic macroinvertebrates, bio-indicator, aquatic ecosystem.*

1. PENDAHULUAN

Air adalah salah satu sumberdaya alam yang sangat vital.⁽¹⁾ Seorang ahli kualitas air dari Universitas Birmingham berpendapat bahwa air adalah sumberdaya alam yang sangat penting di dunia

karena tanpa air kehidupan tidak akan pernah ada dan kebanyakan industri tidak akan beroperasi. Walaupun manusia dapat hidup dalam waktu satu bulan tanpa makanan, namun manusia hanya mampu bertahan hidup beberapa hari saja tanpa air.⁽²⁾ Oleh karena itu sebagai sumber-

oleh manusia dan makhluk hidup lainnya baik kualitas maupun kuantitas merupakan faktor pembatas dalam kehidupan dan menentukan kualitas hidup manusia dan makhluk hidup lainnya.⁽⁴⁾

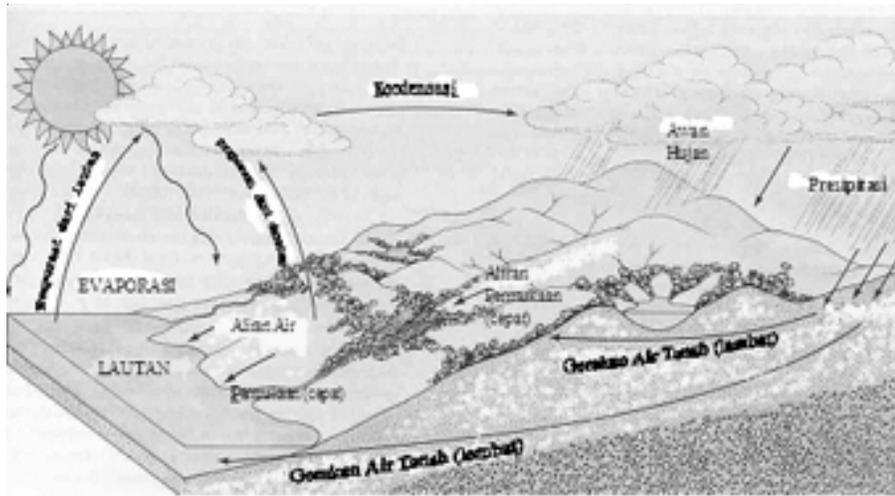
Sumberdaya air digolongkan sebagai sumberdaya alam yang sifatnya dapat mengisi lagi (*replenishable*), tetapi sumberdaya ini juga digolongkan sebagai sumberdaya yang dapat habis (*depleteable*) apabila dikelola secara tidak benar dan bijaksana (*unwise use*).⁽⁵⁾ Oleh karena itu, sumberdaya air dapat digolongkan kedalam sumberdaya alam yang mempunyai potensi untuk dapat diperbaharui (*potentially renewable*).⁽⁶⁾ Jadi sesungguhnya sumberdaya air dapat habis dalam jangka waktu pendek apabila dalam penggunaannya dilakukan praktek pengelolaan yang tidak bertanggung jawab dan tidak rasional serta tidak terencana.⁴ Ketersediaan sumberdaya air yang aman baik kualitas maupun kuantitasnya dan dapat diandalkan sumberdayanya, yaitu terjaganya dan terjaminnya kualitas dan kuantitas air, merupakan persyaratan utama untuk memantapkan keberadaan suatu komunitas yang stabil, bila tidak maka masyarakat tersebut akan menjadi suatu masyarakat yang berpindah-pindah (*nomadic community*).⁽³⁾ Menurut sejarahnya, konflik masalah air selalu terjadi baik dalam pengembangan pertanian maupun dalam hal pemenuhan untuk kebutuhan rumah tangga. Konflik seperti ini akan terus terjadi sejalan dengan bertumbuhnya jumlah penduduk dan aktivitas manusia baik untuk pengembangan pemukiman maupun untuk industri baru, sehingga permintaan akan air bersih terus meningkat sepanjang zaman dari tahun ke tahun. Sedangkan ketersediaan air masih relatif tetap sama dan akan mengalami banyak

gangguan dan cenderung menurun baik kualitas maupun kuantitasnya bila manusia tidak memperhatikan cara pengelolaan limbah rumah tangga dan industri dengan cara hanya membuang limbah ke sistem lingkungan alam tanpa adanya sistem pengolahan limbah. Memang betul bahwa alam mempunyai kemampuan untuk mengasimilasi limbah, namun bila kelaran limbah besar dari daya tampung lingkungan (***natural assimilation capacity***), maka sumberdaya air akan tercemar dan kualitasnya akan cenderung menurun. Oleh karena itu berpendapat bahwa pentingnya air sebagai suatu sumberdaya alam yang membutuhkan pengelolaan dan konservasi harus dikenali secara baik dan dihargai secara universal. Walaupun alam mempunyai kemampuan untuk memulihkan dari akibat kerusakan lingkungan, tumbuhnya atau bertambahnya permintaan kebutuhan air dan sumberdaya air mengharuskan para profesional untuk mengetahui secara mendasar tentang siklus air untuk menjamin agar kualitas dan kuantitas sumberdaya air dapat terjaga dengan baik (lihat Gambar-1).³ Sejarah telah membuktikan bahwa manusia telah berbuat dan berusaha banyak dan mengerti betul akan pentingnya menjaga ketersediaan air dan sanitasi yang efektif. Kerajaan Romawi sebagai contoh telah lama membuktikan bahwa mereka merupakan salah satu negara yang ahli dalam bidang keinsinyuran untuk bidang kesehatan masyarakat, karena mereka pada zaman itu sudah mempunyai system penyediaan air dan drainasi yang canggih untuk memenuhi kebutuhan masyarakat secara menyeluruh.² Sebuah konsep untuk memenuhi permintaan air bersih yang dibuat dari daerah kawasan hulu suatu DAS hingga ke dataran rendah dan system drainase untuk sanitasi di

perkotaan merupakan salah satu contoh terbaik dalam hal menghargai pentingnya pengelolaan sumberdaya air secara menyeluruh (*holistic approach*).

Mahluk hidup mempunyai peranan yang penting dalam banyak aspek pengendalian kualitas air dan arena itu pengkajian ciri dan sifat biologis suatu badan air kerap kali mempunyai nilai positif dan berdampak sangat nyata. Sebagai sumberdaya alam, air mengandung beragam jasad renik

air merupakan menunjang utama hidup manusia, maka bila air terkontaminasi, air mempunyai potensi untuk menularkan berbagai macam penyakit yang akan membahayakan kesehatan manusia, seperti penyakit hepatitis (hati), kolera, typhoid, dan para typhus, askariasis (perut), konjungtivitis (mata), skistosomiasis (kandungan), malaria, polio, dan lain-lain.⁽³⁾ Demikian juga mahluk hidup lainnya yang hidup di dalam air, tentunya mereka akan sangat terpengaruh dari bahan yang masuk dalam ekosistem



Gambar -1. Siklus Hidrologi

membentuk suatu system keseimbangan alam (*a balance of ecological system*). Tipe dan jumlah jasad renik sangat tergantung dari kualitas air dan faktor lingkungan lainnya. Dalam pengolahan limbah cair organik, jasad renik berperan sangat penting dan sebagian besar jenis yang ditemukan di dalam air dan limbah cair tidak berbahaya bagi manusia. Tetapi ada beberapa jenis jasad renik yang ada di dalam air berkategori berbahaya bagi kesehatan manusia, seperti *Escherichia coli*, virus hepatitis, virus polio, dll. Karena

lahan perairan. Oleh karena itu, indikator biologis merupakan penampakan utuh dari sifat mahluk hidup yang bereaksi (*respons*) secara langsung dan relative cepat terhadap adanya perubahan kualitas, kuantitas dan kondisi ekosistem atau sistem lingkungan lahan perairan.

Walaupun metoda biologis tentang pengkajian kualitas air telah digunakan dan diterapkan di Eropa Barat sejak tahun 1848, tetapi baru awal abad ke-20 mulai dilirik dan dikembangkan di Eropa^(6,7) dan

kemudian di Amerika (**Richardson, 1928**), dan akhirnya pada pertengahan abad ke-20 kemungkinan penggunaan organisme sungai sebagai indikator polusi memperoleh pertimbangan yang serius di Britania (Inggris). berdasarkan studi sebelumnya di sungai Trout Cardingshire yang terpolusi oleh pertambangan timah mengenali tiga fase/tahapan pemulihan yang dicirikan oleh adanya jenis (taksa) yang didefinisikan secara baik.⁽⁹⁾ Kemudian **Butcher (1928)** yang mempelajari pengaruh keluaran limbah dari saluran pembuangan limbah (**sewerage system**) pada tanaman dan hewan air di sungai kecil, mengajukan usulan bahwa studi lebih lanjut yang lebih mendalam harus membuat hal ini menjadi mungkin untuk menggunakan hewan dan tanaman air sebagai bukti langsung dari suatu dampak polusi dan tidak mengganggu secara keseluruhan terhadap pengukuran analisis fisik-kimia air yang sifatnya tidak secara langsung berdampak pada kehidupan flora dan fauna yang hidup di dalam air.

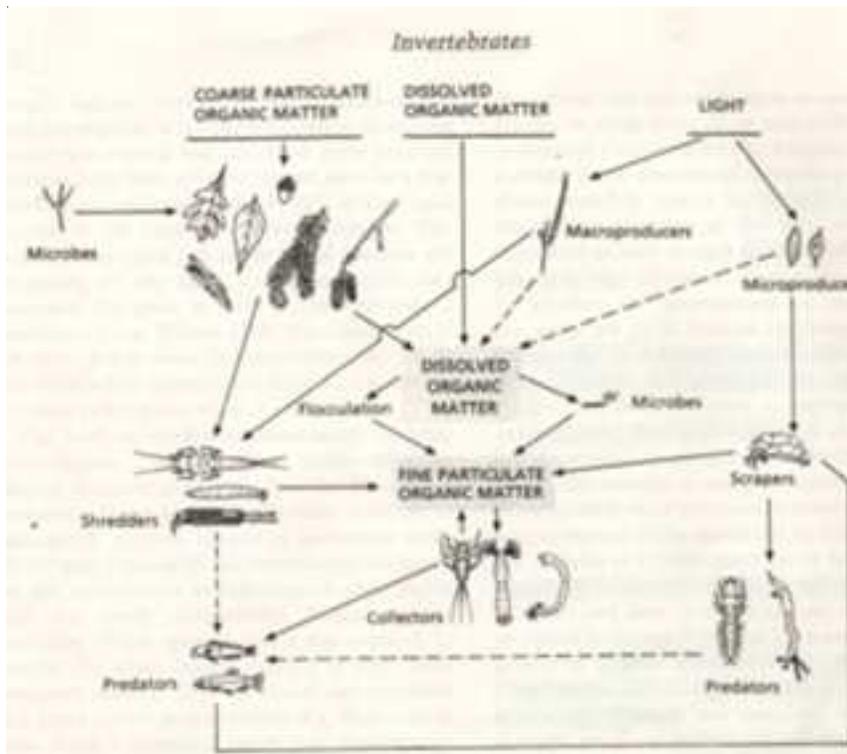
Hewan air yang dapat digunakan sebagai indikator biologis adalah dari jenis hewan air seperti ganggang (**algae**), bakteri, protozoa, makroinvertebrata, dan ikan (**fish**).⁽¹⁾ Namun demikian dari kelima jenis hewan air tersebut, yang paling baik dan cocok digunakan sebagai indikator biologis dan ekologis adalah dari grup bentik makroinvertebrata, karena adanya faktor preferensi habitatnya dan juga mobilitasnya yang relative rendah menyebabkan makhluk hidup ini dapat digunakan sebagai makhluk hidup yang keberadaannya sangat dipengaruhi secara langsung oleh semua bahan yang masuk kedalam lingkungan lahan perairan. Secara biologis, hewan air yang dapat digunakan sebagai indikator biologis adalah dari jenis hewan air

seperti ganggang (**algae**), bakteri, protozoa, makroinvertebrata, dan ikan (**fish**).⁽¹⁰⁾ Namun demikian dari kelima jenis hewan air tersebut, yang paling baik dan cocok digunakan sebagai indikator biologis dan ekologis adalah dari grup bentik makroinvertebrata, karena adanya faktor preferensi habitatnya dan juga mobilitasnya yang relative rendah menyebabkan makhluk hidup ini dapat digunakan sebagai makhluk hidup yang keberadaannya sangat dipengaruhi secara langsung oleh semua bahan yang masuk kedalam lingkungan lahan perairan.⁽¹⁰⁾ Disamping itu bentik makroinvertebrata juga sangat mudah untuk diidentifikasi dan diamati secara mikroskopis, dianalisa, dan diawetkan atau disimpan (**preserve**) dari pada jasad renik lainnya.

Makroinvertebrata pada umumnya telah banyak digunakan sebagai alat untuk membuat kajian terintegrasi tentang kualitas air sungai. Keuntungannya karena makroinvertebrata (ukurannya kira-kira lebih besar dari 0,5 mm) berfungsi sebagai jembatan penghubung antara algae (ganggang) dengan mikroorganisme (bakteri) dan juga yang bertindak sebagai sumber bahan pangan baginya dan ikan atau hewan bertulang belakang lainnya yang menggunakan atau memanfaatkan makroinvertebrata sebagai mangsanya (lihat Gambar-2). Disamping itu makroinvertebrata mempunyai tingkat "**turnover**" yang sedang (intermediate), akan tetapi makroinvertebrata mempunyai "**replacement time**" yang lebih besar dari mikroorganisme (bakteri) yang mempunyai tingkat turnover" yang lebih besar dan mempunyai **replacement time** yang lebih cepat dari ikan-ikan yang umumnya mempunyai tingkat "**turnover**" yang lambat. Keuntungan berikutnya adalah

hewan air ini sangat gampang untuk diamati dengan mata telanjang tanpa bantuan alat mikroskop dan jumlahnya cukup banyak di dalam lingkungan lahan perairan untuk dapat segera kembali diambil contohnya dan diamati, dan juga mempunyai siklus hidup berjangka waktu yang sesuai untuk pengamatan musiman

Negara Amerika Serikat sebagai contoh menggunakan istilah nilai EPT untuk mengevaluasi kualitas badan airnya, sedangkan Negara Australia menggunakan istilah "*streamwatch*" atau "*bugwatch*" untuk mengevaluasi perairan sungainya dari indeks polusi yang dihitung berdasarkan dari angka



Gambar-2. Konsep Model Struktur dan Fungsi Ekosistem dalam Kehidupan Biota Makroinvertebrata⁽¹⁰⁾

yang sangat singkat maupun untuk pengamatan yang bersifat setahun sekali. Karena itu tidak heran bila makroinvertebrata telah banyak digunakan untuk pengkajian sumber pangan bagi ikan untuk meunjang berkembangbiaknya populasi ikan dan juga digunakan untuk mengevaluasi kualitas air.⁽¹⁰⁾

sensitivitas makroinvertebrata terhadap bahan polusi. Demikian juga Negara Inggris menggunakan BMWP (*British*) dan Negara Afrika Selatan menggunakan SASS (*South Africa Scoring System*). Namun demikian Indonesia belum menetapkan untuk mengadopsi system yang mana, dan juga belum melakukan

kajian yang tepat dan cepat dalam mengantisipasi untuk mengikutsertakan peran masyarakat dalam mengelola lingkungan lahan perairan agar pembangunan berkelanjutan dapat berlangsung sesuai dengan pesan amanat untuk implementasi Agenda 21 hingga ke generasi bangsa pada masa yang akan datang. Pemberdayaan masyarakat dalam pengelolaan lingkungan merupakan prasyarat menuju masyarakat Indonesia yang madani dan bertanggung jawab terhadap lingkungannya. Oleh karena itu, usaha-usaha pemantauan lahan perairan dengan menggunakan pendekatan yang holistic dengan menggunakan peralatan yang sederhana melalui petunjuk yang sederhana, namun dengan hasil yang akurat dapat membantu masyarakat dan pemerintah dalam pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan. Tulisan ini bertujuan untuk mengetengahkan dan membahas pentingnya dilakukan pemantauan biologis di ekosistem lahan perairan secara terintegrasi dengan menggunakan sistem pemantauan biologis, dimana makroinvertebrata air diusulkan sebagai alat indikator biologis polusi di lahan perairan.

2. KONSEP SPECIES INDIKATOR

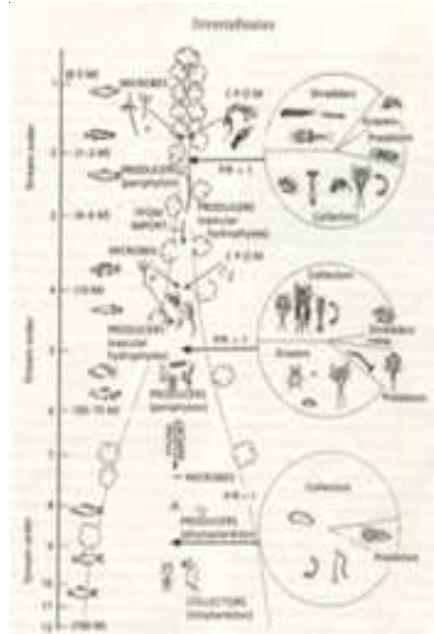
Makroinvertebrata seperti insekta, cacing, siput (mollusca), dan krustasea (crustacea) adalah hewan air yang dapat diamati dengan mata telanjang, tanpa bantuan alat mikroskopis dan binatang ini semua tanpa tulang belakang dan banyak dijumpai di dalam air sehingga dapat digunakan sebagai barometer kehidupan di dalam air. Apakah lingkungan air sudah terpolusi atau masih bersih dapat dilihat dari ada tidaknya biota invertebrata tersebut. Seperti halnya burung kenari yang digunakan oleh para penambang

batubara dalam mendeteksi gas-gas beracun yang kerap kali ditemukan di dalam tambang batubara, sehingga mereka dapat terhindar dari kematian akibat bahan gas beracun dalam tambang. Namun demikian kejadian di dalam air berbeda dengan yang ada di dalam lingkungan pertambangan. Di pertambangan kita membawa burung kenari ke dalam tambang, sedangkan di lingkungan lahan perairan, makroinvertebrata merupakan makhluk hidup yang memang bermukim di dalam air secara alami (*indigenous residence*). Sehingga apabila terjadi perubahan kondisi di dalam lingkungan air menurut pengamatan kita, maka akan mempengaruhi kehidupan makroinvertebrata secara bertahap tergantung dari pada daya adaptasinya atau toleransinya terhadap bahan polusi. Hal ini yang akan banyak membantu kita untuk menemukan dan mengerti secara mendalam apakah telah terjadi polusi dalam badan air atau tidak. Lahan perairan yang bersih dan sehat akan berisi penuh dengan berbagai macam kehidupan hewan air. Beragamnya species di dalam air yang bersih dan sehat menjadikan binatang ditemukan dalam jumlah yang seimbang dengan species lainnya dalam suatu kompleks jejaring kehidupan (*web of life*) berdasarkan konsep rantai makanan (*food chain*) (lihat Gambar-3).⁽¹²⁾ Sehingga apabila lahan perairan telah terkontaminasi dengan bahan polusi, maka gambaran kehidupan air akan segera berubah, sebab polusi bahan organik seperti halnya pencucian pupuk yang dihasilkan dari aktivitas di ekosistem lahan pertanian dapat menghasilkan suatu jumlah kelimpahan ganggang air (*Algae*) dan gulma air (*aquatic plants*) yang mengganggu keseimbangan kehidupan di dalam air. Bahan terkontaminasi lainnya seperti klor

(*chlorine*) atau pestisida (*pesticides*) atau herbisida (*herbicides*) dapat membunuh hewan air, khususnya hewan air yang peka, dan mengakibatkan hanya binatang/hewan air yang toleran atau mempunyai tahan yang tinggi yang akan mampu tinggal hidup, akibatnya keseimbangan kehidupan di dalam air pun akan terganggu (lihat Gambar-4). Konsep ini juga digunakan oleh para nelayan dalam menangkap ikan di laut. Adanya gerombolan elang laut di suatu lokasi menunjukkan bahwa ikan sedang berkumpul di lokasi tersebut dan dengan mudah kemudian para nelayan akan menangkap ikan-ikan di laut. Gejala-gejala seperti inilah yang mungkin harus dikembangkan yang berguna sebagai alat indikator atau barometer untuk mengelola lingkungan lahan perairan.

3. MAKROINVERTEBRATA SEBAGAI SPECIES INDIKATOR

Badan air biasanya merupakan sebuah rumah bagi berbagai macam hewan air, seperti insekta, crustacea, moluska, dan berbagai macam cacing air. Jenis binatang ini sering disebut sebagai kutu-kutu air. Para ahli biologi air menemukan bahwa sejumlah kutu air dari berbagai macam jenis yang ditemukan di dalam badan air dapat digunakan sebagai indikasi suatu kadar relatif dari polusi air. Dengan kata lain bahwa apabila kita mengambil contoh air dan diamati secara cermat keberadaan hewan airnya, maka akan diperoleh suatu petunjuk tentang kualitas badan air tersebut. Apabila program biomonitoring dapat dilakukan secara berkala, maka para ahli biologi air akan dapat menganalisa hasilnya bersama dengan hasil analisa fisika-kimia air yang biasa dilakukan oleh setiap kegiatan pemantauan kualitas air. Maka jurang yang selama ini dijumpai dan sulit



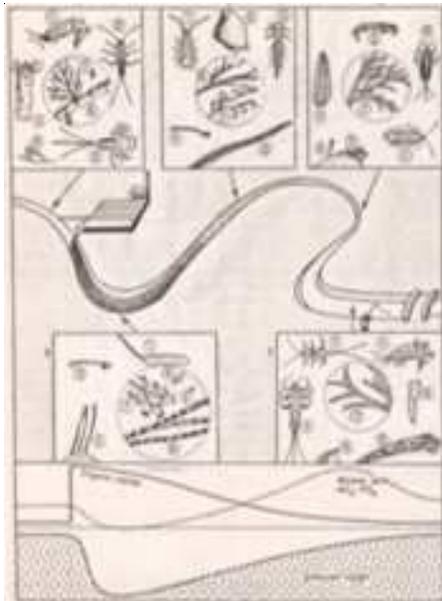
Gambar-3. Jejaring kehidupan invertebrata di sungai

untuk di interpretasikan dengan cara konvensional tersebut dapat terisi dengan cara menambahkan kegiatan Biomonitoring makroinvertebrata. Analisis sifat fisika-kimia air yang biasa dilakukan, adakalanya sulit diandalkan karena bahan polusi begitu cepat larut dalam air dan hilang ke muara sungai. Analisa kimia sering kali harus ditambah lagi dengan analisa daging ikan untuk melihat ada tidaknya akumulasi bahan berbahaya yang terakumulasi dalam hewan air (*biomagnifikasi*) yang terus hidup di dalam air yang terpolusi. Namun binatang air seperti ikan mobilitasnya sangat tinggi, sehingga makroinvertebrata yang mempunyai mobilitas relative rendah akan sangat membantu untuk menelaah masalah polusi di dalam air dan dasar badan sungai yang terkontaminasi. Satu kali sampling makroinvertebrata saja

pada badan air, hasilnya telah memberikan suatu sidik jari atau kondisi keadaan kualitas air sungai yang akan dievaluasi kadar polusinya yang telah terkontaminasi selama beberapa bulan (Lihat Gambar 4). Makroinvertebrata mengakumulasi semua bahan polusi dalam tubuhnya karena makroinvertebrata tidak berpindah tempat secara cepat, kecuali bila terjadi proses "drift", oleh karena itu invertebrate merupakan bahan biologis yang sangat ideal untuk mengevaluasi sumber polusi di suatu badan air.¹² Kebanyakan makroinvertebrata mempunyai siklus hidup kurang dari setahun sampai setahun yang membuat mereka merupakan bahan studi yang sangat cocok untuk mengevaluasi kondisi badan air dalam jangka waktu yang relative singkat. Makroinvertebrata mempunyai berbagai macam toleransi terhadap bahan polusi. Beberapa species

seperti cacing-cacing air (*worms*) dan chiro-nomids mampu hidup hingga dalam batas toleransi yang tinggi, sehingga dapat pula hidup dalam suatu kondisi air yang sangat beragam, baik dari badan air yang sangat terpolusi hingga badan air yang bersih. Namun makroinvertebrata lainnya hanya dapat hidup dan bertahan hidup dalam suatu kondisi air yang bersih dan sehat. Perubaahn sedikit saja dalam badan air, akan mengubah populasi makroinvertebrata dengan cepat. Oleh karen itu dengan melihat species yang dijumpai di dalam air kita akan bias menganalisa kondisi kesehatan pada saat ini. Polusi akan segera tampak terlihat apabila ada sejumlah populasi makroinvertebrata yang terdiri dari mahluk yang akan tahan terhadap polusi dan tidak dijumpai species yang sensitif terhadap polusi.

Negara Amerika Serikat menggunakan istilah EPT yang merupakan kepanjangan dari Ephemeroptera, Plecoptera dan Trichoptera untuk mengevaluasi kondisi keadaan lahan perairan saat ini. Para ahli menghitung suatu nilai numerik yang dapat digunakan secara kualitatif untuk melihat species apa saja yang ada di dalam air dari sebanyak 100 organisme yang terdapat dalam contoh air. Apabila nilai EPT-nya lebih besar dari sepuluh, maka badan air dinyatakan tidak terkena polusi, dan apabila nilai EPT-nya berkisar antara 6-10, maka badan air termasuk dalam kondisi sedikit terkena polusi, dan apabila nilai EPT-nya berkisar antara 2-5, maka badan air tersebut termasuk dalam kondisi polusi menengah, dan apabila nilai EPT-nya hanya 0-1, berarti badan air sudah terkena polusi yang sangat berat. Bersamaan dengan nilai tersebut, kadangkala para ilmuwan melihat pula unsure/parameter lainnya yaitu seperti



Gambar-4. Suksesi invertebrata saat terkena dampak polusi

Tabel-1. Cara Menghitung indeks polusi berdasarkan pada faktor sensitivitas makroinvertebrata terhadap polusi di lahan perairan air tawar.

WATERBUG	NUMBER FOUND	SENSITIVITY INDEX
Stonefly nymphs		8
Freshwater yabbie or crayfish		7
Mayfly nymphs		7
Freshwater mussel		6
Water mite		5
Freshwater shrimp		6
Freshwater sandhopper (Amphipod)		5
Dragonfly nymph		6
Damselfly nymph		6
Freshwater slater (isopod)		5
Caddisfly larvae		6
Leech		3
Flatworm		3
Snails		3
Nematodes		4
Hydra		4
Beetles (coleoptera)		3
Beetle larvae (Coleoptera)		4
True bugs (Hemiptera)		4
Fly larvae		2
Blood worm		1
Midge larvae		2
Mosquito larvae		2
Aquatic earthworm		1
TOTALS		Pollution Index

NOTE: Count the number of each type of waterbug found and enter these numbers in column 2. If you find a bug is present, circle its sensitive index number in column three. At the end of your collecting session, add up the circled numbers in column three to get your pollution index, and from the column below, your stream quality rating.

POLLUTION INDEX	STREAM QUALITY RATING
20 or less	Poor
21-35	Fair
36-50	Good

keragaman jenis dan kelimpahan jenis suatu species dibandingkan dengan jumlah total dari species lainnya. Seperti halnya pula yang terjadi di Australia, para ilmuwan membagi makroinvertebrata menjadi 4 bagian yang berpedoman pada tingkat sensitivitas hewan air terhadap polusi, yaitu binatang air yang sangat sensitif terhadap polusi, agak sensitif, toleran dan sangat toleran. Setelah itu dibuatlah tabulasi untuk menghitung indeks polusi badan air, seperti yang tertera dalam Tabel-1 di bawah ini. Kemudian indeks polusi yang diperoleh dari tabel di atas dicocokkan sesuai dengan tingkat kualitas badan air yang dihasilkan seperti berikut ini, yaitu apabila indeks polusi adalah lebih besar atau sama dengan 51, maka kualitas air suatu badan air dinyatakan baik sekali, dan apabila indeks polusi berkisar antara 36-50, maka kualitas badan air dinyatakan

baik, kemudian apabila indeks polusi berada pada kisaran 21-35, maka kualitas badan air dinyatakan sedang saja, dan akhirnya apabila indeks polusi berada pada nilai kurang atau sama dengan 20, maka kualitas badan air dinyatakan jelek.

3.1 Pelaksanaan Monitoring Lahan Perairan

Biomonitoring makroinvertebrata sangat cepat dan tidak mahal dengan menggunakan peralatan yang sederhana dan dapat pula mengikutsertakan masyarakat umum untuk membantu mengontrol kebersihan dan kesuburan lingkungan lahan perairan, sehingga dapat dilaksanakan dengan segera. Adapun peralatan yang diperlukan untuk kegiatan tersebut adalah wadah plastik bekas es krim beserta tutupnya, wadah plastic untuk membuat es yang digunakan untuk memilah-milah makroinvertebrata, sebuah buku catatan berukuran kecil, handuk pengelap keringat berukuran sedang, sendok plastic, kuas, dan pinset, sepatu berlaras tinggi dan sarung tangan tahan air dan jangan lupa ayakan plastic yang disambung dengan tongkat kayu atau bamboo untuk menangkap makroinvertebrata dalam air yang dilapisi dengan snglet atau kaos kaki, dan yang terakhir jangan lupa topi untuk mencegah anda dari sengatan matahari. Dengan demikian, semua orang psti bias melakukannya tanpa harus menjadi seorang ilmuwan atau insinyur. Namun demikian petunjuk lapangan untuk identifikasi hewan air merupakan hal yang penting untuk dibuat dan dibawa serta ke lapangan. Pengalaman lapangan dalam mencari tempat yang cocok untuk mengambil contoh air sehingga memperoleh contoh yang mewakili merupakan keuntungan tersendiri.

3.2 Pemberdayaan Masyarakat (Community-based Aquatic Monitoring)

Melalui pemasyarakatan biomonitoring, kini saatnya kita memasuki dunia kontrol yang mengikutsertakan masyarakat banyak dan kita yakin bahwa hal ini sangat bermanfaat bagi masyarakat untuk belajar menganalisa dan membersihkan lingkungannya dari bahan berbahaya dan beracun yang terdapat di lingkungan sekitar mereka. Sebagaimana yang selalu kita gembar-gemborkan bahwa masyarakat harus diberdayakan untuk mengurus lingkungannya tanpa harus mengeluarkan biaya yang terlalu mahal. Namun demikian hal ini harus disertai dengan kemampuan para politikus kita yang selama ini hanya bicara, tanpa ada kerja yang nyata dan berguna bagi semua masyarakat.

Demikian juga Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM) yang kadangkala tanpa daya dan upaya untuk memperbaiki kesehatan lingkungan karena keterbatasan dana dan upaya. Pemerintah sebagai administrator harus juga berupaya untuk memasang pagar hukum dan plaksanaan hukuman bagi yang melanggar sesuai dengan ketentuan perundang-undangan yang mengutamakan kepentingan masyarakat banyak. Perangkat hukum dan perundang-undangan yang eksklusif tanpa memasukkan peran serta masyarakat tentunya akan sia-sia, namun peran masyarakat yang terlalu banyak akan berakibat perbuatan yang semena-mena. Oleh karena itu, pemerintah sebagai administrator harus bisa menjembatani keinginan masyarakat yang terkena dampak langsung polusi badan air yang dihasilkan oleh aktivitas manusia. Tahapan yang harus kita lakukan untuk

menyusun strategi pengembangan biomonitoring lingkungan perairan adalah untuk membentuk suatu unit pengembangan pengawasan darurat bagi lingkungan sekitar desa atau kampung yang berbatasan langsung dengan pusat industri atau suatu kawasan industri. Namun demikian, lingkungan perumahan atau suatu kawasan pemukiman tentunya tidak terlupakan karena lingkungan pemukiman juga merupakan penyumbang polusi yang kadangkala belum diketahui oleh masyarakat kita pada umumnya.

Tak jarang pula bahwa kegiatan pertanian merupakan sumber polusi apabila tidak dikelola secara baik dimana diterapkannya system konservasi tanah dan air, yaitu peranan petani dalam memanfaatkan air dengan sebaik-baiknya agar tidak mempunyai kekuatan merusak seperti erosi taupun aliran permukaan yang menyebabkan sebagian permukaan tanah hilang terbawa air dan juga pencucian hara sehingga banyak badan air yang diperkaya menjadi badan air yang subur (eutrofikasi) dan menunjang tumbuhnya berbagai macam gulma air yang mengganggu dan merusak fungsi badan air. Dengan adanya peranan masyarakat dan indikator biologi yang diterapkan, masyarakat akan dengan mudah mendeteksi kejadian awal dari gejala lingkungan yang terus menerus memburuk. Agar masyarakat dapat dengan mudah dan secara sederhana melaksanakan Biomonitoring tersebut, maka perlu disusun suatu buku petunjuk cara menghitung indeks polusi di lahan perairan berdasarkan nilai sensitivitas makroinvertebrata yang dijumpai di Indonesia.

3.3 Masyarakat sebagai Pengontrol Lingkungan Lahan Perairan

Masyarakat merupakan pengontrol yang paling baik dan menjadi strategis yang jitu dalam mengelola lingkungan secara benar. Pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable development*) merupakan suatu aturan yang harus diperjuangkan pemerintah untuk disampaikan pada masyarakat, agar masyarakat mengerti betul manfaat dan tujuan dari pembangunan. Pembangunan berkelanjutan untuk generasi bangsa pada masa yang akan datang (*sustainable development for future generations*), dimana hidup kita dan sumberdaya alam kita merupakan titipan nenek moyang untuk diwariskan kepada anak cucu adalah merupakan tema yang paling baik agar lingkungan tetap bersih dan sehat. Bersih saja belum tentu sehat, sebab bila lahan pinggir sungai bersih dari vegetasi yang merupakan penyangga badan sungai tersebut terhindar dari bahaya banjir dan polusi, maka badan air akan berubah fungsinya menjadi saluran air kotor yang tidak banyak manfaatnya bagi kehidupan. Oleh karena itu, fungsi lingkungan memegang peran penting dalam pengelolaan lingkungan hidup. Dengan memperkenalkan berbagai konsep lingkungan yang memanfaatkan fenomena alam yang berguna bagi kehidupan merupakan suatu keharusan. Mengamati lingkungan dari adanya perubahan sekecil apapun merupakan hal yang sangat baik untuk melihat berbagai gejala alam yang dapat kita pakai sebagai modal untuk mengajarkan konsep lingkungan kepada anak-anak kita agar menjadi anak yang mengerti dan tunduk kepada alamnya, namun

bukan berarti kita menyembah alam tersebut tetapi kita memahami alam secara baik dan menjaganya agar terhindar dari kerusakan. Salah satu fenomena yang harus kita masyarakatkan adalah bioindikator. Untuk lingkungan perairan makroinvertebrata dan fitoplankton merupakan organisme air yang dapat dimanfaatkan sebagai gejala awal (*early warning system*) perubahan lingkungan akibat aktivitas manusia seperti industri, pertanian, perumahan dan pariwisata.

3.4 Sistem Peringatan Dini

Bioindikator species merupakan gejala awal yang dapat dimanfaatkan untuk system peringatan dini, agar manusia sadar akan perubahan lingkungan yang terjadi di sekitarnya. Indikator biologis adalah cara yang terbaik untuk diterapkan dalam pengelolaan lingkungan karena organisme berinteraksi langsung dengan lingkungannya. Keberadaan bahan polusi dalam suatu ekosistem akan terus terdeteksi secara biologis, namun untuk sampai kepada pada dan siapa tentunya memerlukan kajian yang mendalam dan terus menerus. Hal inilah yang biasanya membutuhkan waktu dan dana dan tidak sedikit sukarelawan lingkungan yang tentunya tanpa mengenal lelah untuk mengejar ketinggalan yang telah dicapai oleh industriwan yang terus berkembang tanpa memperhatikan dampak yang ditimbulkan. Dengan adanya kerjasama antara masyarakat dengan industriwan dan ilmuwan tentunya akan tercipta suasana hidup baru yang saling berdampingan yang akhirnya dapat mensejahterakan masyarakat Indonesia secara utuh dan keseluruhan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Makroinvertebrata merupakan organisme yang dapat digunakan untuk sistem peringatan dini dari suatu lingkungan yang terkena polusi.
2. Makroinvertebrata adalah organisme air yang banyak digunakan oleh para ahli untuk biomonitoring kualitas lahan perairan.
3. Biomonitoring makroinvertebrata sangat cepat dan mudah dilaksanakan serta tidak mahal dalam pelaksanaannya karena memerlukan peralatan yang sederhana dan banyak dijumpai dimana-mana.
4. Perlu dibentuk suatu tim biomonitoring yang bertujuan untuk menyusun buku petunjuk yang dapat dengan segera melaksanakan kegiatan biomonitoring (pantauan) lahan perairan.
5. Untuk memberdayakan masyarakat perlu disusun suatu tim khusus yang bekerjasama dan saling membantu di setiap pedesaan atau kampung yang berbatasan langsung dengan lahan perairan dimana terdapat banyak kegiatan industri atau perumahan atau pariwisata maupun pertanian.
6. Dengan memperhatikan akan pentingnya pemantauan lahan perairan yang telah menurun dengan cepat kualitasnya, maka dirasa perlu untuk membentuk diklat biologi perairan untuk tingkat nasional dan daerah hingga pedesaan agar kegiatan dan kebijaksanaan biomonitoring lahan perairan dapat

berlangsung secara serentak dalam kurun waktu yang relatif bersamaan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Haynes, H.B.N. 1977. Adult and Nymphs of British Stoneflis (Plecoptera).3th edition. freshwater Biological Association.
2. Leopold, I.b. 1974. Water: a primer, an outstanding and easy-to-read introduction to the fundamentals of water resources. W.H. Freeman, San Fransisco, USA.
3. Tebbutt THY. 1992. Principles of Water Quality Control. 4th edition. Pergamon Press; Oxford
4. Tjokrokusumo, S.W. (1995). Pengelolaan sumberdaya air untuk pembangunan berkelanjutan. Publikasi Ilmiah "Menuju Era Teknologi Hijau, buku 1: Masalah Lingkungan dan Pengelolaannya. Direktorat Teknologi Pemukiman dan Lingkungan Hidup, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta 10340.
5. Tietenberg, t. (1988). Environmnetal and Natural Resources Economics. Second edition. Scott, Foresman dan Company, Illinois, USA.
6. Miller, G.T. 1990. Living in the Environment: An introduction to environmental Science. Sixth edition. Wardsworth Publishing Company, California, USA.
7. Kolkwitz,R, & Marson,K. 1908. Okologie der pflanzlichen Saprobien, Ber. dt. bot. Ges., 26 A:505-519
8. Kolkwitz,R, & Marson,K. 1909. Okologie der Tierischen Saprobien. Int. Revue Ges. Hydrobiol. Hydrogr 2: 126-152
9. Carpenter, K.E. 1926. On The Tropism of Some Freshwater Planarians . Nature, April 17 th
10. Wilhm,J.L. 1975. Biological Indicators of Pollution. In Whitton, B.A. (ed.) River Ecology. Blackwell Scientific Publications, Oxford, Great Britain.
11. Cummins, K.W. 1992. Invertebrates. In Calow, P and Pets, G.E. (eds.). The rivers Handbook, volume 1. Blackwell Scientific Publications, Pxford, London, great Britain.
12. Essman, j. and Zarpas, S. 1990. Canaries of The Stream. The conservationist/NYSDEC, May-June volume 44 No. 6.