

Peran Mikroba sebagai Biomonitoring Kualitas Perairan Tawar pada Beberapa Situ

Inggit Winarni

PENDAHULUAN

Salah satu dampak dari peledakan jumlah penduduk dan perkembangan teknologi adalah pencemaran terhadap lingkungan. Pada batas-batas tertentu lingkungan sekitar kita masih mampu membersihkan dirinya dari segala macam zat pencemar. Namun, bila jumlahnya sudah melebihi kemampuan lingkungan, maka perlu keterlibatan manusia untuk mengatasinya. Salah satu cara untuk mengatasi pencemaran adalah dengan menggunakan mikroba. Saat ini mikroba banyak dimanfaatkan untuk pengelolaan lingkungan karena dapat memperbaiki kualitas lingkungan perairan. Selain itu, karena mikroba mampu merespon perubahan fisika atau kimia dalam suatu lingkungan sehingga dapat digunakan sebagai indikator alami terhadap perubahan lingkungan akibat dari pencemaran air.

Ada bermacam-macam bahan pencemar. Ada yang berasal dari sumber-sumber alami dan ada yang berasal bahan sintetik. Ada yang bersifat yang mudah dirombak (*biodegradable*) dan ada yang sangat sulit bahkan tidak bisa dirombak (*rekalsitran/nonbiodegradable*). Ada juga yang bersifat racun bagi jasad hidup dengan bahan aktif tidak rusak dalam waktu lama (*persisten*). Banyak usaha telah dilakukan untuk mengatasi berbagai bahan pencemar perairan tersebut, mulai dari cara fisika, kimia, dan biologi. Namun cara biologi merupakan cara yang paling tepat, bila dilihat dari keuntungan atau kelebihannya. Beberapa mikroba telah diketahui dapat mendegradasi bahan pencemar, diantaranya adalah bakteri heterotrof. Bakteri heterotrofik merupakan golongan bakteri yang mampu memanfaatkan dan mendegradasi senyawa organik kompleks yang mengandung unsur C, H, dan N menjadi senyawa yang lebih sederhana. Bakteri heterotrof juga dapat berperan sebagai biomonitoring.

Biomonitoring adalah metode pemantauan kualitas air dengan menggunakan indikator biologis (*bioindikator*). Bioindikator adalah kelompok atau komunitas organisme yang keberadaannya atau perilakunya di alam berhubungan dengan kondisi lingkungan. Apabila terjadi perubahan

kualitas air maka akan berpengaruh terhadap keberadaan dan perilaku organisme tersebut, sehingga dapat digunakan sebagai penunjuk kualitas lingkungan. Secara umum istilah biomonitoring dipakai sebagai alat atau cara yang penting dan merupakan metode baru untuk menilai suatu dampak pencemaran lingkungan (Mukono, 2006).

Apabila terjadi perubahan kualitas air maka hal itu akan berpengaruh terhadap keberadaan dan perilaku organisme tersebut, sehingga dapat digunakan sebagai penunjuk kualitas lingkungan. Rahayu (2009) mengatakan bahwa kelompok organisme penunjuk kualitas lingkungan yang umum digunakan dalam pendugaan kualitas air adalah plankton (mikroorganisme yang hidup melayang-layang di dalam air), periphyton (alga, cyanobacter, mikroba dan detritus yang hidup di dalam air), mikrobentos (mikroorganisme yang hidup di dalam atau di permukaan air), makrobentos (makroinvertebrata yang hidup di dalam atau di permukaan air), makrophyton (tumbuhan air), nekton (kelompok ikan kecil). Kelompok organisme tersebut sering digunakan dalam pendugaan kualitas air karena dapat mencerminkan pengaruh perubahan kondisi fisik dan kimia yang terjadi di perairan dalam selang waktu tertentu. Indikator yang digunakan sebagai biomonitoring biasanya hidup atau menempati wilayah perairan tertentu atau disebut indikator biologis. Indikator biologis merupakan cara terbaik untuk diterapkan dalam pengelolaan lingkungan karena organisme berinteraksi langsung dengan lingkungannya (Hakim dan Trihadiningrum, 2012).

Bioindikator merupakan kelompok atau komunitas organisme yang saling berhubungan, yang keberadaannya atau perilakunya sangat erat berhubungan dengan kondisi lingkungan tertentu sehingga dapat digunakan sebagai satu petunjuk atau uji kuantitatif. Biomonitoring merupakan metode 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 (Tjokrokusumo, 2006). Peran mikroba tersebut diharapkan dapat meminimalisir atau mengurangi bahkan dapat menghilangkan tingkat pencemaran air. Dengan berkurangnya tingkat pencemaran air diharapkan pola hidup masyarakat akan semakin baik dan dapat menuju masyarakat yang sehat. Hal ini dapat dicapai bila melibatkan peran serta masyarakat dalam menanggulangi tingkat pencemaran air.

PENGERTIAN PENCEMARAN

Seperti telah diketahui air merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui dan keberadaannya sangat melimpah di Indonesia. Air memiliki peranan yang sangat penting dalam memenuhi segala kebutuhan manusia untuk menjalankan berbagai aktivitas kehidupan. Tidak hanya oleh manusia, bahkan semua makhluk hidup pun sangat memerlukan air sebagai penopang hidupnya. Air digunakan untuk berbagai keperluan hidup, mulai dari konsumsi, kebersihan, dan lainnya. Air juga merupakan salah satu habitat bagi beberapa organisme perairan. Oleh karena itu, sumber daya air tersebut harus dilindungi agar tetap dapat dimanfaatkan baik oleh manusia maupun makhluk hidup lainnya.

Syarat air dapat dikonsumsi harus memenuhi syarat fisik, kimia, maupun biologis. Secara fisik air layak dikonsumsi jika tidak berbau, berasa, dan tidak berwarna. Secara kimia air tidak boleh mengandung racun atau zat-zat kimia berbahaya, dan secara biologi air tidak boleh mengandung bakteri, protozoa, ataupun kuman-kuman penyakit. Kebersihan dan terbebasnya air dari polutan menjadi hal yang sangat penting.

Di sisi lain, dampak dari peledakan jumlah penduduk dan perkembangan teknologi adalah meningkatnya limbah yang dihasilkan baik limbah dari buangan rumah tangga maupun industri yang mengubah komposisi air sehat, sehingga berdampak pada terjadinya pencemaran air. Masuknya partikel zat/organisme yang memengaruhi kandungan air tentu dapat membuat kualitas air menurun dan apabila zat pencemar memasuki sumber air dapat mengubah kualitas hidup manusia.

Effendi (2003) menyatakan bahwa pencemaran air adalah masuknya bahan pencemar (polutan) ke dalam lingkungan air sehingga komposisi air pada keadaan normalnya berubah. Bahan pencemaran air dapat berupa limbah padat maupun limbah cair, misalnya limbah yang berasal dari rumah tangga, industri, pertanian, dan rumah sakit. Sementara Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. KEP-03/MENKLH/II/1991, menjelaskan bahwa yang dimaksud dengan pencemaran air ialah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam air dan atau berubahnya tatanan air oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. Berdasarkan definisi tersebut dapat disimpulkan

bahwa segala sesuatu yang mengubah kualitas air baik masuk atau dimasukkan adalah merupakan bentuk pencemaran air.

Membludaknya populasi manusia dan industri yang semakin berkembang menyebabkan banyak masalah kependudukan, dan merupakan pemicu terjadinya pencemaran lingkungan. Di negara berkembang seperti Indonesia, pemerintahan pun belum mampu mengatasi masalah tersebut. Sejumlah provinsi dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi dan kota-kota industri memiliki masalah yang sangat sensitif terhadap pencemaran air, sedangkan air merupakan komponen utama bagi kehidupan. Kebutuhan akan air sangat bervariasi, sehingga batas pencemaran untuk berbagai jenis air juga berbeda-beda. Contoh, air sungai di pegunungan yang belum tercemar tidak dapat digunakan langsung sebagai air minum karena belum memenuhi persyaratan untuk dikategorikan sebagai air minum. Saat ini keberadaan air dilihat dari jumlah dan kualitasnya semakin lama semakin menurun. Bahkan banyak daerah perkotaan dan pedesaan yang terancam mengalami krisis air bersih.

Semua kegiatan yang dilakukan manusia untuk memenuhi kebutuhannya menghasilkan limbah yang masuk ke sungai atau danau atau air tanah dan menyebabkan pencemaran air. Sementara kita tahu bahwa sungai adalah salah satu sumber air yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya. Sungai merupakan ekosistem yang sangat penting bagi manusia. Sungai juga menyediakan air bagi manusia baik untuk berbagai kegiatan, seperti pertanian, industri, maupun domestik.

INDIKATOR PENCEMARAN

Pencemaran air dapat menjadi masalah regional ataupun internasional, yang sangat berhubungan dengan jenis pencemaran yang lain, yaitu udara dan tanah. Seperti air di kutub saat ini dilaporkan mencair akibat pemanasan global dan efek rumah kaca yang mengakibatkan suhu di bumi menjadi lebih tinggi. Efek rumah kaca diakibatkan oleh emisi berbagai zat berwujud gas yang membumbung ke udara, contohnya CO₂ (karbondioksida).

Air yang baik adalah air yang tidak tercemar secara berlebihan oleh zat-zat kimia atau mineral yang berbahaya bagi kesehatan. Menurut Aguskriono (2011) beberapa indikator bahwa air sungai telah tercemar dicirikan dengan beberapa hal berikut:

1. Perubahan Suhu

Air yang semula berkualitas baik dapat berubah sebagai limbah yang dapat mencemari lingkungan perairan, akibat kegiatan industri atau kegiatan lainnya yang memerlukan pendinginan mesin. Air panas yang muncul akibat kegiatan tersebut merupakan limbah yang harus dibuang dan apabila air panas tersebut langsung dibuang ke lingkungan akan mengganggu kehidupan hewan air dan mikroorganisme lainnya. Kenaikan suhu air akan menimbulkan beberapa akibat seperti penurunan jumlah oksigen yang terlarut di dalam air, meningkatkan kecepatan reaksi kimia, apabila batas suhu yang mematikan terlampaui, ikan dan hewan air lainnya akan mati.

2. Perubahan pH

pH air normal yang memenuhi syarat untuk suatu kehidupan berkisar 6,5-7,5. Apabila pH air tidak dalam kisaran angka tersebut maka air sudah dalam keadaan tercemar. Perubahan pH air dapat mengganggu kehidupan makhluk hidup, misalnya pembuangan limbah ke perairan dapat mengubah pH air yang dapat mengakibatkan gangguan pada makhluk hidup di dalamnya.

3. Perubahan Warna, Bau, dan Rasa

Pembuangan limbah ke perairan dapat mengubah warna, bau, dan rasa. Bahan buangan tersebut dapat larut dalam air menjadi koloid atau mengendap. Air dalam keadaan normal dan bersih pada umumnya tidak akan berwarna, sehingga tampak bening dan jernih, tetapi hal itu tidak berlaku mutlak, seringkali zat-zat beracun justru terdapat pada bahan buangan industri yang tidak mengakibatkan perubahan warna pada air. Warna kuning akan muncul jika air tercemar chromium dan materi organik. Jika air berwarna merah kekuningan, itu menandakan adanya cemaran besi. Sementara pengotor berupa lumpur akan memberi warna merah kecoklatan. Bau yang tercium dalam air tanah juga menunjukkan adanya pencemaran. Apapun baunya, itu sudah menunjukkan bahwa air tanah tersebut tidak layak untuk dikonsumsi. Demikian pula dengan air yang memiliki rasa berarti telah terjadi penambahan material pada air dan mengubah pH air. Polutan berupa mineral akan membuat air tanah memiliki rasa tertentu. Jika terasa pahit, pemicunya bisa berupa besi, aluminium, mangan, sulfat, atau

kapur dalam jumlah besar. Air tanah yang rasanya seperti air sabun menunjukkan adanya cemaran alkali. Sumbernya bisa berupa natrium bikarbonat, atau bahan pencuci yang lain, misalnya detergen. Sedangkan rasa payau menunjukkan kandungan garam yang tinggi, sering terjadi di daerah sekitar muara sungai.

4. **Timbulnya Endapan, Koloidal, dan Bahan Terlarut**

Keruh merupakan tanda bahwa air tanah telah tercemar oleh koloid (bio zat yang lekat seperti getah atau lem). Lumpur, tanah liat, dan berbagai mikroorganisme seperti plankton atau partikel lainnya juga bisa menyebabkan air berubah menjadi keruh. Bahan buangan yang berbentuk padat, sebelum mengendap di dasar sungai akan melayang di dalam air bersama koloidal, sehingga menghalangi masuknya sinar matahari ke dalam lapisan air. Padahal sinar matahari sangat diperlukan oleh mikroorganisme untuk melakukan fotosintesis.

5. **Adanya Mikroba**

Mikroba sangat berperan dalam proses degradasi bahan buangan dari limbah industri ataupun domestik. Bila bahan buangan yang harus didegradasi cukup banyak, maka mikroba akan ikut berkembang biak. Tidak tertutup kemungkinan bahwa mikroba patogen ikut berkembang biak pula.

6. **Meningkatnya Radioaktivitas Air Lingkungan**

Zat radioaktif dari berbagai kegiatan dapat menyebabkan berbagai macam kerusakan biologis apabila tidak ditangani dengan benar. Efek yang terjadi dapat berupa efek langsung maupun efek tertunda.

Selain indikator tersebut, terdapat parameter kimia yang menunjukkan telah terjadi pencemaran air, yaitu DO (*Dissolved Oxygen*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), dan jumlah total zat terlarut. DO atau oksigen terlarut adalah banyaknya oksigen yang terkandung dalam air. Oksigen terlarut ini merupakan salah satu parameter dalam menentukan kualitas air. Air yang memiliki DO tinggi menunjukkan tingkat pencemaran yang rendah, dan sebaliknya air yang memiliki DO rendah menunjukkan tingkat pencemaran yang tinggi. Oksigen terlarut dibutuhkan oleh mikroorganisme air sebagai sumber oksigen dalam proses

pernafasan. Semakin sedikit oksigen ditunjukkan dengan mikroorganisme air yang semakin sedikit, bahkan seringkali tumbuh mikroorganisme anaerob. Bila mikroorganisme anaerob yang tumbuh, maka air tersebut seringkali berbau tidak sedap. BOD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme pengurai untuk menguraikan zat organik dalam keadaan aerob. COD merupakan jumlah oksigen yang diperlukan oleh bahan buangan yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia baik yang dapat didegradasi secara biologis maupun sukar didegradasi.

Selain hal-hal tersebut di atas, beberapa mikroorganisme juga dapat digunakan sebagai indikator pencemaran yang dikenal sebagai parameter biologi. Artinya bila suatu perairan terdapat mikroorganisme indikator, maka perairan tersebut telah tercemar. Menurut Aguskriono (2011), beberapa persyaratan yang harus dipenuhi agar mikroorganisme dapat dijadikan sebagai indikator pencemaran antara lain: dapat digunakan untuk berbagai jenis air; mikroorganisme harus muncul bila patogen enterik dan sumber polusi muncul; tidak ada di air yang terpolusi; mudah diisolasi, murah, mudah diidentifikasi, dan mudah dihitung; lebih banyak jumlahnya dan lebih tahan dibanding patogen; bukan merupakan patogen; tidak berkembang biak di air; merespon perlakuan dan kondisi lingkungan; kepadatan indikator harus berkaitan langsung dengan derajat polusi; dan menjadi bagian dari mikroflora dalam saluran pencernaan hewan berdarah panas.

FAKTOR PENYEBAB PENCEMARAN

Faktor-faktor yang menyebabkan air menjadi tercemar, terbagi dua, yaitu faktor alam dan faktor manusia. Terjadinya berbagai bencana alam, seperti badai, gempa bumi, aktivitas gunung berapi, dan serangan algae blooms merupakan contoh faktor alam penyebab terjadinya pencemaran. Sedangkan contoh penyebab pencemaran akibat faktor manusia, misalnya pertumbuhan industri dan pabrik yang menghasilkan limbah. Secara rinci terjadinya pencemaran air akibat faktor manusia dikelompokkan dalam:

1. Buangan Limbah Rumah Tangga

Limbah pemukiman atau rumah tangga mengandung limbah domestik (*domestic wastes water*) berupa sampah organik, sampah anorganik, dan deterjen. Sampah organik adalah sampah yang dapat diuraikan atau dibusukkan oleh bakteri. Contohnya adalah sisa-sisa sayuran,

buah-buahan, dan daun-daunan. Sedangkan sampah anorganik adalah sampah yang tidak dapat diuraikan oleh bakteri (*non biodegradable*), contohnya adalah kertas, plastik, gelas atau kaca, kain, kayu-kayuan, logam, karet, dan kulit. Apabila sampah organik dibuang ke sungai, jumlah oksigen terlarut berkurang, karena sebagian besar oksigen digunakan bakteri untuk proses pembusukannya. Apabila sampah anorganik dibuang ke sungai, maka cahaya matahari yang masuk ke sungai dapat terhalang sehingga menghambat proses fotosintesis dari tumbuhan air dan alga untuk menghasilkan oksigen.

Deterjen merupakan limbah pemukiman yang paling potensial mencemari air. Pada saat ini hampir setiap rumah tangga menggunakan deterjen, padahal limbah deterjen sangat sukar diuraikan oleh bakteri sehingga tetap aktif untuk jangka waktu yang lama. Bahkan penggunaan deterjen secara besar-besaran dapat meningkatkan senyawa fosfat pada air sungai atau danau. Fosfat ini merangsang pertumbuhan ganggang dan eceng gondok. Pertumbuhan ganggang dan eceng gondok yang tidak terkendali menyebabkan permukaan air danau atau sungai tertutup sehingga menghalangi masuknya cahaya matahari dan mengakibatkan terhambatnya proses fotosintesis. Jika tumbuhan air ini mati, akan terjadi proses pembusukan yang menghabiskan persediaan oksigen dan menyebabkan pengendapan bahan-bahan yang mengakibatkan pendangkalan.

Limbah yang dihasilkan oleh rumah tangga tak hanya berupa buangan yang dihasilkan oleh rumah penduduk, namun juga yang berasal dari rumah sakit, rumah makan, dan lainnya. Meningkatnya jumlah penduduk berdampak pada limbah yang dihasilkan oleh aktivitas rumah tangga akan meningkat pula, sehingga pencemaran air yang terjadi pun semakin tinggi. Di beberapa daerah di Indonesia masih ada kebiasaan yang buruk yakni membuang kotoran di sungai, sementara sungai tersebut merupakan sumber air yang digunakan warga sebagai pemasok kebutuhan dari konsumsi dan kebersihan. Hal ini tentu akan meningkatkan pencemaran air dengan meningkatnya mikroba penyebab penyakit. Kotoran yang mencemari air merupakan penyebab dari berbagai penyakit yang dapat menginfeksi manusia itu sendiri, misal: diare, typhus, kolera, dll.

2. Limbah Pertanian

Negara kita merupakan negara agraris karena sebagian besar penduduk Indonesia masih mengandalkan sektor pertanian untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Aktivitas penggunaan pupuk dan pestisida dalam pertanian dapat mencemari badan air sekitarnya. Senyawa-senyawa organik yang berasal dari pupuk atau pestisida langsung ataupun tidak langsung dapat berdampak pada keseimbangan ekosistem dan juga kesehatan. Pemakaian pupuk dan pestisida yang berlebihan dapat mencemari air. Limbah pupuk mengandung fosfat yang dapat merangsang pertumbuhan gulma air seperti ganggang dan eceng gondok. Pertumbuhan gulma air yang tidak terkendali ini menimbulkan dampak seperti yang diakibatkan pencemaran oleh deterjen.

Limbah pestisida mempunyai aktivitas dalam jangka waktu yang lama dan ketika terbawa aliran air ke luar dari daerah pertanian, dapat mematikan hewan yang bukan sasaran seperti ikan, udang, dan hewan air lainnya. Pestisida mempunyai sifat relatif tidak larut dalam air, tetapi mudah larut dan cenderung konsentrasinya meningkat dalam lemak dan sel-sel tubuh mahluk hidup, sehingga apabila masuk dalam rantai makanan konsentrasinya makin tinggi dan yang tertinggi adalah pada konsumen puncak. Contohnya ketika di dalam tubuh ikan kadarnya 6 ppm, di dalam tubuh burung pemakan ikan kadarnya naik menjadi 100 ppm, dan akan meningkat terus sampai konsumen puncak.

3. Aktivitas Industri

Meningkatnya industri di Indonesia menyebabkan meningkatnya jumlah limbah yang dihasilkan, terutama limbah cair yang dibuang melalui aliran air. Limbah industri sangat potensial sebagai penyebab terjadinya pencemaran air. Pada umumnya limbah industri mengandung limbah B3, yaitu bahan berbahaya dan beracun. Limbah industri yang berbahaya antara lain yang mengandung logam dan cairan asam. Misalnya industri pelapisan logam menghasilkan limbah yang dihasilkan industri pelapisan logam, yang mengandung tembaga dan nikel serta cairan asam sianida, asam borat, asam kromat, asam nitrat, dan asam fosfat. Limbah ini bersifat korosif, dapat mematikan tumbuhan dan hewan air. Pada manusia menyebabkan iritasi pada kulit dan mata, mengganggu pernafasan dan menyebabkan kanker.

Logam yang paling berbahaya dari limbah industri adalah merkuri atau yang dikenal juga sebagai air raksa (Hg) atau air perak. Limbah yang mengandung merkuri selain berasal dari industri logam juga berasal dari industri kosmetik, batu baterai, plastik, dan sebagainya. Merkuri tersebut selanjutnya berubah menjadi metil merkuri karena proses alamiah. Bila senyawa metil merkuri masuk ke dalam tubuh manusia melalui media air, akan menyebabkan keracunan seperti yang dialami para korban Tragedi Minamata.

Limbah industri pertambangan, seperti batubara biasanya tercemar asam sulfat dan senyawa besi, juga sangat berbahaya, apabila mengalir ke luar daerah pertambangan. Air yang mengandung kedua senyawa ini dapat berubah menjadi asam. Bila air yang bersifat asam ini melewati daerah batuan karang/kapur akan melarutkan senyawa Ca dan Mg dari batuan tersebut. Limbah pertambangan yang bersifat asam juga bisa menyebabkan korosi dan melarutkan logam-logam sehingga air yang dicemari bersifat racun dan dapat memusnahkan kehidupan akuatik.

Selain pertambangan batubara, pertambangan lain yang menghasilkan limbah berbahaya adalah pertambangan emas. Pertambangan emas menghasilkan limbah yang mengandung merkuri, yang banyak digunakan penambang emas tradisional atau penambang emas tanpa izin, untuk memproses bijih emas. Para penambang ini umumnya kurang mempedulikan dampak limbah yang mengandung merkuri karena kurangnya pengetahuan yang dimiliki. Biasanya mereka membuang dan mengalirkan limbah bekas proses pengolahan ke selokan, parit, kolam atau sungai.

Industri minyak dapat menghasilkan limbah cair yang populer berupa minyak. Tidak adanya pengolahan limbah industri minyak yang langsung dibuang ke perairan berdampak pada komposisi air di wilayah tersebut. Tercemarnya badan air oleh minyak dapat menyebabkan kematian bagi organisme di sekitarnya. Masalahnya ialah minyak, tidak dapat menyatu dengan air. Dengan demikian sangat sulit untuk memisahkan zat tercemar tersebut. Satu pabrik dapat memiliki banyak limbah, antara lain berupa logam berat, padatan, toksin organik, dan lain sebagainya. Limbah tersebut dibuang langsung ke saluran air yang ada.

DAMPAK PENCEMARAN

Berdasarkan komponen dan sumber pencemaran air maka dapat diidentifikasi beberapa dampak yang ditimbulkannya. Dampak tersebut dibagi menjadi empat kelompok besar, yaitu:

1. Kehidupan Spesies yang Berada di Air

Banyaknya zat pencemar pada air limbah akan menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut sehingga mengakibatkan kehidupan organisme dalam air yang membutuhkan oksigen terganggu serta mengurangi perkembangannya. Bahkan dapat menyebabkan punahnya spesies, akibat adanya zat pencemar pada lingkungan perairan. Berbagai spesies hewan memiliki kekebalan yang tidak sama, ada yang peka, ada pula yang tahan. Hewan muda, larva merupakan hewan yang peka terhadap bahan pencemar. Ada hewan yang dapat beradaptasi sehingga kebal terhadap bahan pencemar. Meskipun hewan dapat beradaptasi, namun harus diketahui bahwa tingkat adaptasi hewan ada batasnya. Bila batas tersebut terlampaui, hewan tersebut akan mengalami keracunan, kemudian mati. Punahnya spesies tertentu dapat mengubah pola interaksi di dalam suatu ekosistem. Rantai makanan, jaring-jaring makanan, dan aliran energi menjadi berubah, akibatnya keseimbangan lingkungan terganggu. Daur materi dan daur biogeokimia menjadi terganggu pula.

2. Kualitas Air

Septic tank atau tempat penyimpanan limbah banyak terdapat di tanah, sementara air tanah digunakan sebagai salah satu sumber air bersih oleh banyak masyarakat. Hal ini menyebabkan banyak sumur mengalami pencemaran limbah tersebut.

3. Kesehatan atau Penyakit Menular

Ini berhubungan dengan mikroba atau bakteri yang muncul akibat limbah yang berasal dari rumah tangga yang masuk ke dalam air. Mikroba dan bakteri patogen ini menjadi sumber penyakit pada manusia. Penyakit yang ditimbulkan diantaranya kolera, diare, deman berdarah, malaria, typhus, dan sebagainya. Hal ini dikarenakan air yang tercemar tersebut merupakan air yang digunakan untuk konsumsi dan memenuhi kebutuhan lainnya (mandi, cuci, kakus).

4. Estetika Lingkungan

Semakin banyaknya zat organik yang dibuang ke lingkungan perairan, maka perairan tersebut akan semakin tercemar. Biasanya ditandai dengan bau yang menyengat di samping tumpukan yang dapat mengurangi estetika lingkungan. Selain bau, limbah tersebut juga menyebabkan tempat sekitarnya menjadi licin. Masalah limbah minyak atau lemak juga dapat mengurangi estetika. Pencemaran air oleh minyak sangat merugikan karena dapat menimbulkan hal-hal sebagai berikut:

- a. menyebabkan penetrasi sinar ke dalam air berkurang
- b. konsentrasi oksigen terlarut menurun karena lapisan film minyak menghambat pengambilan oksigen oleh air
- c. permukaan air akan mengganggu kehidupan burung air, karena burung-burung yang berenang dan menyelam bulu-bulunya akan ditutupi oleh minyak sehingga menjadi lengket satu sama lain.
- d. penetrasi sinar dan oksigen yang menurun dapat mengganggu kehidupan tanaman-tanaman.

Sedangkan limbah detergen atau sabun akan menyebabkan penumpukan busa yang sangat banyak. Ini pun dapat mengurangi estetika. Dampak yang ditimbulkan terhadap organisme adalah kematian, atau akan mengalami kelainan genetik, menderita kanker, dan sebagainya (Arianto, 2008).

Dampak yang satu dengan yang lainnya saling terkait, misal kualitas air dengan kadar oksigen berkurang, tentunya akan mengganggu kehidupan berbagai spesies makhluk hidup yang ada di air. Dampak pencemaran lingkungan air pada kesehatan tak kalah banyak. Pencemaran air juga membuat kualitas air tanah menurun. Sebuah lembaga di Jakarta sudah membuktikan bahwa ada banyak sekali pencemaran yang terjadi di sumur dangkal daerah Jakarta. Air yang tercemar juga bisa menjadi tempat tumbuh bagi mikroba patogen. Hal ini membuat air menjadi media penyebaran penyakit yang efektif. Manusia yang mengonsumsi air tercemar tersebut akan terserang berbagai penyakit pada sistem pencernaannya. Jumlah air bersih yang tersedia pun berkurang. Selain pengelompokan tersebut, dampak pencemaran juga digolongkan menjadi:

1. Banjir

Menumpuknya sampah di perairan dapat menghambat arus air, sehingga bila musim penghujan tiba, sungai tak mampu menampung pertambahan debit air yang masuk sebagai akibat adanya sumbatan sampah. Oleh karena itu, banjir pun tak dapat terhalangi. Banjir merupakan penyakit yang masih menjadi masalah besar bagi beberapa wilayah Indonesia salah satunya adalah DKI Jakarta. Pemerintah telah berupaya untuk mengatasi masalah yang tak kunjung selesai. Tanpa keikutsertaan penduduk setempat, maka masalah ini terus akan menjangkiti kita semua.

2. Rusaknya Ekosistem

Air merupakan habitat bagi organisme perairan seperti ikan, golongan invertebrata, tumbuhan air, dan lainnya. Air yang tercemar dapat merusak keseimbangan ekosistem yang artinya mengancam kehidupan organisme perairan. Sebagai contoh, masuknya limbah pupuk ke dalam suatu badan air dapat menyebabkan suburnya tumbuhan air seperti alga atau eceng gondok yang dapat memenuhi permukaan air. Kondisi demikian tidaklah menguntungkan bagi ikan, udang, atau lainnya yang tinggal di dalam air. Dengan meningkatnya tumbuhan air yang memenuhi permukaan maka akan menurunkan kandungan oksigen terlarut dalam air yang berarti ikan dan udang akan mengalami deoksigenasi (kekurangan oksigen). Selain itu, rapatnya tumbuhan air dapat menghalangi cahaya matahari untuk menembus ke dalam air yang menyebabkan suhu di dalam air akan semakin rendah.

3. Mutasi Organisme

Menumpuknya senyawa kimia tertentu dapat memicu terjadinya mutasi pada makhluk hidup. Salah satu contohnya adalah limbah pestisida yang mengandung DDT (*Dichloro Diphenyl Trichloroethane*) yang mencemari suatu perairan dapat terakumulasi pada organisme (semakin tinggi tingkatan organisme maka kandungan DDT pada tubuhnya semakin banyak), yang apabila organisme tersebut termakan manusia (memakan ikan dari air yang tercemar zat DDT tersebut) maka dapat memicu perubahan hormon pada laki-laki, sehingga berefek munculnya sifat feminisme pada laki-laki. Selain itu, penggunaan insektisida dapat mematikan predator. Punahnya predator mengakibatkan serangga

hama akan berkembang tanpa kendali yang dikenal dengan peledakan hama. Selain itu, penggunaan insektisida juga dapat mematikan fauna tanah, yang berdampak pada penurunan kesuburan tanah.

PENCEGAHAN/PENGURANGAN PENCEMARAN AIR

Limbah atau bahan buangan yang dihasilkan dari semua aktivitas manusia, baik dari buangan limbah rumah tangga, kegiatan pertanian, maupun industri serta pertambangan tidak bisa dihindari. Namun dampak dari limbah tersebut masih bisa dicegah atau paling tidak dikurangi, agar tidak merusak lingkungan yang pada akhirnya juga akan merugikan manusia.

Untuk menciptakan kesehatan lingkungan, maka penanganan air limbah yang berasal dari rumah tangga merupakan masalah hal serius yang perlu dilakukan. Air buangan (limbah) yang bersumber dari rumah tangga, yaitu air limbah yang berasal dari pemukiman penduduk. Pada umumnya air limbah ini terdiri atas ekskreta (tinja dan air seni), air bekas cucian dapur dan kamar mandi, serta umumnya terdiri atas bahan-bahan organik dan anorganik. Buangan limbah cair yang bersumber dari rumah tangga jika tidak dikelola dengan baik dapat memberikan dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia. Lingkungan yang tercemar dapat menjadi media bagi tumbuh dan berkembangnya berbagai jenis mikroba (virus, bakteri, dan protozoa) yang merupakan mikroba patogen, seperti bakteri *Eschericia coli*. Penyakit-penyakit ini menyebar jika kondisi lingkungan permukiman memiliki sanitasi yang sangat buruk.

Beberapa usaha yang dapat dilakukan untuk tindakan pencegahan atau paling tidak mengurangi segala akibat yang ditimbulkan oleh limbah berbahaya akibat buangan limbah rumah tangga, antara lain meliputi:

1. Setiap rumah tangga sebaiknya menggunakan deterjen secukupnya dan memilah sampah organik dari sampah anorganik. Sampah organik bisa dijadikan kompos, sedangkan sampah anorganik bisa didaur ulang. Beberapa manfaat pengomposan sampah antara lain: mengurangi sampah di sumbernya, mengurangi beban volume di TPA, mengurangi biaya pengelolaan, menciptakan peluang kerja, memperbaiki kondisi lingkungan, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan penggunaan kompos dapat mendukung produk organik *green consumerism* dan *more sustain land use*.
2. Tidak membuang sampah dan limbah cair sembarangan.

3. Tidak membuang sisa obat dan insektisida ke selokan atau sungai.
4. Seharusnya industri dan pemukiman tidak langsung membuang sampah ke sungai, melainkan dimasukkan terlebih dahulu ke kolam pengolah limbah agar tidak membahayakan ekosistem air.

Tindakan yang dapat dilakukan untuk pencegahan atau pengurangan limbah akibat aktivitas pertanian, antara lain:

1. Penggunaan pupuk dan pestisida secukupnya atau memilih pupuk dan pestisida yang mengandung bahan-bahan yang lebih cepat terurai, yang tidak terakumulasi pada rantai makanan.
2. Penggunaan pupuk organik dan kompos sebagai pengganti pupuk buatan pabrik merupakan alternatif tepat untuk mengurangi pencemaran air oleh nitrat dan pospat. Kompos dan pupuk organik di samping dapat memulihkan kandungan mineral dalam tanah juga dapat memperbaiki struktur dan aerasi tanah serta mencegah eutrofikasi.
3. Pemanfaatan musuh alami dan parasitoid dalam pemberantasan hama lebih aman bagi lingkungan. Hama pengganggu populasinya berkurang, tetapi tidak menimbulkan residu pestisida dalam tanah dan dalam tubuh tanaman.
4. Pertanian organik sudah dikembangkan di negara-negara maju. Di samping menghasilkan produk yang aman bagi lingkungan dan kesehatan, produk pertanian organik memiliki nilai jual yang lebih tinggi.
5. Dalam menangkap ikan dihindari penggunaan racun dan bahan peledak. Penggunaan jala dan pancing di samping lebih *higienis* juga tidak menimbulkan kerusakan lingkungan, kelangsungan regenerasi ikan juga dapat berlangsung baik.

Tindakan yang dapat dilakukan untuk pencegahan atau pengurangan limbah akibat aktivitas industri, antara lain:

1. Setiap pabrik/kegiatan industri sebaiknya memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), untuk mengolah limbah yang dihasilkannya sebelum dibuang ke lingkungan sekitar. Dengan demikian diharapkan dapat meminimalisasi limbah yang dihasilkan atau mengubahnya menjadi limbah yang lebih ramah lingkungan.
2. Mengurangi penggunaan bahan-bahan berbahaya dalam kegiatan pertambangan atau menggantinya dengan bahan-bahan yang lebih

ramah lingkungan. Alternatif lain adalah diharuskannya membangun IPAL pertambangan, sehingga limbah dapat diolah terlebih dahulu menjadi limbah yang lebih ramah lingkungan, sebelum dibuang keluar daerah pertambangan.

3. Mengupayakan pencegahan kebocoran instalasi pengeboran minyak lepas pantai. Kebocoran tanker minyak dapat menimbulkan tumpahan minyak di laut. Tumpahan minyak di pantai harus segera dibersihkan sebelum menimbulkan dampak lebih luas.
4. Pembangunan kawasan industri sebaiknya disertai dengan perencanaan AMDAL (Analisis Mengenai Dampak Lingkungan). Selain hal tersebut kawasan industri harus memenuhi syarat telah memiliki instalasi pengolahan limbah, jauh dari pemukiman warga, serta seminimal mungkin menghasilkan limbah. Limbah cair dari pabrik sebaiknya disaring, diencerkan, diendapkan, dan dinetralkan dulu sebelum dibuang ke sungai. Demikian pula rumah sakit dan peternakan sebaiknya memiliki bak penampungan limbah (septic tank) untuk menampung limbah yang dihasilkan.
5. Pencegahan terjadinya banjir dan erosi lapisan tanah dapat dengan gerakan penghijauan, reboisasi, pembuatan jalur hijau, dan mempertahankan areal resapan air pada kawasan-kawasan penyangga. Pembuatan sengkedan dan terasering pada lahan miring juga dapat memperkecil laju erosi, yang akhirnya dapat mengurangi tingkat pencemaran karena erosi lapisan tanah.

Selain beberapa usaha tersebut, untuk mengatasi masalah pencemaran air diperlukan koordinasi yang baik antara penduduk dengan pemerintah. Berikut beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk mencegah dan mengatasi pencemaran air, yaitu:

1. Kesadaran diri sendiri
Awal perubahan itu dimulai dari diri sendiri, membiasakan diri untuk menjaga kebersihan air dengan tidak membuang sampah di sungai. Contoh kecil ini dapat ditularkan kepada orang lain untuk melakukan hal yang sama.
2. Aturan yang tegas
Adanya penyuluhan bagi masyarakat umum untuk senantiasa menjaga lingkungan air dan undang-undang yang mengatur pembuangan limbah cair oleh industri. Diharapkan dengan adanya aturan yang mengikat

sebagai tolok ukur bagi segenap bangsa untuk mulai berbenah. Tindakan tegas bagi pelanggar aturan merupakan upaya untuk tetap menegakkan apa yang telah dikomitmenkan.

3. Bioremediasi

Bioremediasi merupakan upaya mengatasi limbah cair dengan menggunakan mikroorganisme. Minyak merupakan limbah yang tidak dapat diatasi dengan mudah, oleh karena itu penggunaan bakteri yang mampu merombak minyak ini menjadi solusi untuk menghilangkan tumpahan minyak di badan air. Adapun mikroba yang digunakan merupakan bakteri yang mampu merombak senyawa limbah dan tidak menyebabkan penyakit.

PERAN MIKROBA SEBAGAI BIOMONITORING KUALITAS PERAIRAN TAWAR PADA BEBERAPA SITU

Mikroba merupakan makhluk hidup terkecil di bumi, namun memegang peranan penting bagi kehidupan manusia dan lingkungan. Banyak sekali tipe mikroba di bumi, dan yang telah diketahui tidak lebih dari 1% dari jumlah spesies mikroba di bumi. Dalam satu gram tanah terdapat satu miliar mikroba yang terdiri atas ribuan spesies. Mikroba merupakan tulang punggung ekosistem yang tidak terkena sinar matahari, misalnya bakteri kemosintetik, yang menyediakan energi dan karbon untuk organisme lain. Beberapa mikroba merupakan dekomposer yang memiliki kemampuan mendaur ulang nutrien. Jadi, mikroba sangat berperan penting dalam daur biogeokimia. Mikroba khususnya bakteri, bersimbiosis dengan makhluk hidup lain yang berdampak positif dan negatif pada ekosistem.

Mikroba mampu merespon perubahan fisika atau kimia dalam suatu lingkungan. Oleh karena itu, mikroba banyak digunakan sebagai indikator alami terhadap perubahan lingkungan terutama akibat dari pencemaran. Saat ini banyak mikroba yang dimanfaatkan di bidang lingkungan dan berperan dalam membantu memperbaiki kualitas lingkungan, terutama untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan, baik di lingkungan tanah maupun perairan. Dalam hal ini akan dibahas beberapa pemanfaatan mikroba dalam proses peruraian bahan pencemar dan peran lainnya untuk mengatasi bahan pencemar air.

Telah diketahui bahwa air memegang peranan penting di dalam kehidupan manusia dan juga makhluk hidup lainnya, antara lain air dapat

digunakan untuk minum, memasak, mencuci, mandi, mengairi sawah, ladang, dan industri. Pencemaran air adalah masuknya zat, energi, unsur, atau komponen lainnya ke dalam air sehingga menyebabkan kualitas air terganggu. Kualitas air yang terganggu ditandai dengan perubahan bau, warna, dan rasa (Effendi, 2003).

Air limbah merupakan air buangan dari masyarakat hasil sisa dari berbagai aktivitas manusia. Kandungan zat kimia dalam air limbah perlu diketahui sebagai langkah awal untuk menentukan perlakuan yang tepat terhadap air limbah tersebut. Selain itu, hal ini juga dilakukan untuk mengetahui tingkat pencemaran yang terjadi. Adanya bahan-bahan organik dalam suatu air limbah dapat mempengaruhi kehidupan dari makhluk hidup tertentu, seperti ikan, serangga, dan organisme lain yang sangat bergantung pada oksigen (Hindarko, 2003).

Salah satu wilayah perairan yang mengalami pencemaran adalah danau atau yang disebut "situ". Hasil penelitian Prihantini, Wardhana, Hendrayanti, Widyawan, Ariyani, dan Riyanto (2008) menunjukkan bahwa beberapa situ di Jabodetabek mengindikasikan telah tercemar. Situ Babakan, Ulin Salam, dan Agathis tergolong perairan tawar yang tercemar sedang, serta danau Sunter dan danau Lido tergolong perairan yang tercemar berat.

Salah satu bahan pencemar adalah surfaktan atau *surface active agents* atau *wetting agents* yang berupa bahan organik. Surfaktan adalah bahan aktif yang terdapat pada deterjen, sabun, dan sampo. Surfaktan terdiri atas sejumlah besar molekul organik yang sulit larut dalam air dan menyebabkan timbulnya busa dalam perairan. Surfaktan dapat menurunkan tegangan permukaan sehingga memungkinkan partikel-partikel yang menempel pada bahan-bahan yang dicuci terlepas dan mengapung atau terlarut dalam air (Effendi, 2003).

Bakteri Heterotrofik

Ada beberapa bakteri yang dapat digunakan untuk mendeteksi tingkat pencemaran di perairan. Kelompok bakteri heterotrofik yang berperan penting dalam sistem perairan karena kemampuan aktivitas metabolismenya, baik pada lingkungan aerob ataupun anaerob (Sigeo, 2005). Bakteri heterotrofik merupakan golongan bakteri yang mampu memanfaatkan dan mendegradasi senyawa organik kompleks yang mengandung unsur C, H, dan N (Parwanayoni, 2008). Bakteri heterotrofik lebih umum dijumpai di perairan dibandingkan bakteri autotrofik, oleh

karena itu dalam ekosistem perairan, bakteri heterotrofik berfungsi menghancurkan bahan-bahan organik pencemar dalam air (Achmad, 2004).

Kelangsungan hidup bakteri heterotrofik di perairan tergantung dari senyawa-senyawa organik, baik untuk kebutuhan energinya maupun sebagai sumber karbon yang diperlukan untuk pembentukan biomasnya. Bakteri heterotrofik lebih umum ditemukan dibandingkan bakteri autotrofik. Irianto dan Hendrati (2003) berhasil mengidentifikasi keragaman bakteri heterotrofik pada perairan dari daerah Gunung Kidul, Yogyakarta, yaitu: *Bacillus*, *Serratia*, *Xanthomonas*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Alcaligenes*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Vibrio*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Achromobter*, dan *Chromobacter*. Sedangkan Winarni, Saptari, dan Nastiti, (2014) berhasil mengidentifikasi sembilan isolat bakteri heterotrofik yang mampu menghambat bakteri pencemar bahan organik (Tabel 1).

Tabel 1.
Hasil Uji Efektivitas Sembilan Isolat Bakteri Heterotrofik

No.	Kode Isolat	Diameter Zona Bening (mm)												
		Ck1	Ck2	Ck3	Cl1	Cl2	Cl3	Cl4	Cl5	Cl6	Cl7	Tj1	Tj2	Tj3
1.	IP1	-	6.8	-	-	-	-	-	-	-	7.0	-	-	-
2.	IP3	-	-	-	-	7.0	-	-	6.8	-	-	-	-	-
3.	ISi2	7.0	-	-	7.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.	ISo5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.0	-
5.	TP4	-	-	6.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.	TSi1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.6	-	-	-
7.	TSi2	-	-	-	-	-	-	-	6.8	-	-	-	-	-
8.	TSi3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9.	TSi5	-	-	-	-	-	15.6	7.0	-	-	-	-	-	-
10.	TSo4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.8
11.	OP5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Keterangan:

- : menunjukkan tidak terbentuk zona bening

Ck : situ Cikaret

Cl : situ Cilodong

Tj : situ Tonjong

Secara rinci hasil uji morfologi dan fisiologi pada sembilan isolat bakteri heterotrof hasil penelitian Winarni, Saptari, dan Nastiti (2013) tersaji pada Tabel 2 berikut ini.

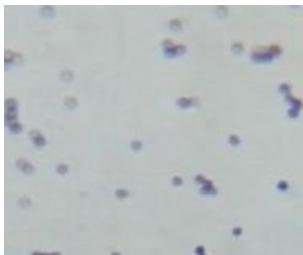
Tabel 2.
Hasil Uji Morfologi dan Fisiologi pada 11 Isolat Bakteri Heterotrofik

No	Kode Isolat	Koloni			Bentuk Sel	Uji Gram	Uji Spora	Uji Kapsul	Uji Motilitas	Uji Katalase
		Warna	Bentuk	Permukaan						
1	IP1	Putih	Tumpul	Cembung	<i>Basilus</i>	+	+	+	+	+
2	IP3	Putih	Lancip	Cembung	<i>Diplobasil</i>	-	-	+	+	+
3	ISi2	Transparan	Lancip	Cekung	<i>Diplobasil</i>	+	-	+	-	-
4	ISo5	Putih	Tumpul	Cekung	<i>Monobasil</i>	-	-	+	+	+
5	TP4	Putih	Lancip	Cembung	<i>Diplococcus</i>	+	-	-	+	+
6	TSi1	Putih	Tumpul	Cekung	<i>Streptococcus</i>	+	-	-	+	+
7	TSi2	Putih	Tumpul	Cembung	<i>Monococcus</i>	-	-	-	+	+
8	TSi5	Kuning	Tumpul	Cembung	<i>Basilus</i>	+	-	+	+	+
9	TSo4	Putih	Runcing	Cekung	<i>Diplobasil</i>	+	+	+	+	+

Keterangan:

I: inlet, T: tengah, O: outlet, P: pagi, Si: siang, So: sore, 1, 2, 3, 4, 5: ulangan
+ : positif, - : negatif

Beberapa bentuk sel isolat bakteri heterotrof yang mampu menghambat atau membunuh pertumbuhan bakteri pencemar bahan organik terlihat pada beberapa Gambar 1 berikut:



Sumber: Winarni *et al.*, 2014

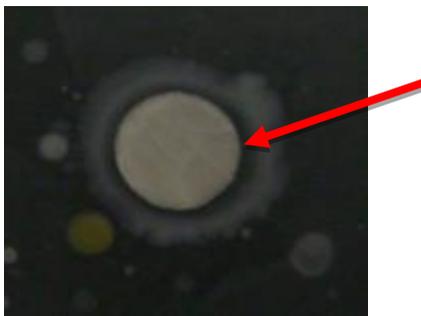
Gambar 1. Bentuk Sel Kokus (Kiri) dan Bentuk Sel Basil (Kanan) Isolat Bakteri Heterorof

Lewaru, *et al.*, (2012) melaporkan bahwa hasil identifikasi secara molekuler yang dilakukan terhadap air yang berasal dari Sungai Cikijing, Rancaekek,

Bandung yang tercemar logam berat Cr, ditemukan adanya *Bacillus thuringiensis* dan *Staphylococcus arlettae*. Secara morfologi *Bacillus thuringiensis* mempunyai ciri-ciri warna koloni putih dan Gram positif berbentuk basil dan bersifat soliter, sedang *Staphylococcus arlettae* mempunyai ciri-ciri koloni putih dan Gram positif berbentuk basil panjang dan duplo. Jamilah, Meryandini, Rusmana, Suwanto, dan Rachmania, (2009) melaporkan bahwa 90% dari 72 isolat *Bacillus* hasil isolasi yang berasal dari tambak udang (tanah, sedimen, perairan) di Karawang Jawa Barat mampu menghasilkan amilolitik, yang diperlihatkan dengan zona bening di sekitar koloni. Secara morfologi *Bacillus* tersebut mempunyai ciri-ciri menghasilkan amilolitik, Gram positif, bentuk batang, koloni warna putih-krem. Wizna, Abbas, Rizal, Dharma, dan Putu, (2007) melaporkan hasil identifikasi terhadap *Bacillus* dari serasah hutan rawa Lembah Anai Tanah Datar mempunyai ciri morfologi dan fisiologi sebagai berikut: berbentuk batang, motil, katalase positif, dan dapat menghidrolisis pati.

Biomonitoring

Mikroorganisme yang tergolong sebagai bioindikator adalah mikroorganisme yang kehadirannya mendominasi di atas spesies lain, misalnya: Coliform, Coliform fekal, *E. coli*, Streptococci fekal, dan Clostridia spores. Winarni *et al.*, (2014) berhasil menunjukkan beberapa isolat bakteri heterotrofik mampu menghambat bakteri pencemar bahan organik, sehingga berpotensi sebagai biomonitoring kualitas perairan tawar. Gambar 2 merupakan hasil uji efektivitas bakteri heterotrof terhadap bakteri target.



Sumber: Winarni *et al.*, 2014

Gambar 2. Pembentukan Zona Bening Hasil Uji Efektivitas Isolat Bakteri Heterotrof Tsi5 dengan Bakteri Target

Pembentukan zona bening menunjukkan bahwa isolat TSi5 dapat menghambat pertumbuhan bakteri tercemar bahan organik asal situ Cilodong (CI1). Semakin besar zona hambat yang dihasilkan semakin kuat isolat tersebut dalam menghambat laju pertumbuhan bakteri target. Semakin besar zona bening yang terbentuk berarti bahwa isolat bakteri tersebut memiliki potensi paling tinggi dalam mendegradasi bahan organik (Suarsini, 2006). Dua populasi bakteri yang ditumbuhkan bersama akan saling berinteraksi dan dapat menunjukkan pertumbuhan yang sinergis atau antagonis/kompetisi. Sifat kompetisi/antagonis ditandai dengan adanya pertumbuhan yang saling menghambat. Menurut Madigan, Martinko, dan Parker, (2000), antimikroba dapat memberikan efek pertumbuhan yang bervariasi, antara lain: bakteriostatik (memberikan efek menghambat pertumbuhan mikroba tetapi tidak membunuh), bakteriosidal (memberikan efek membunuh sel tetapi tidak menyebabkan lisis sel), dan bakteriolitik (menyebabkan sel menjadi lisis). Daerah hambatan yang terbentuk merupakan daerah bening di sekitar kertas cakram, menunjukkan bahwa bakteri patogen atau mikroorganisme yang diuji telah dihambat oleh senyawa antimikroba yang berdifusi ke dalam agar dari kertas cakram (Amsterdam, 1992).

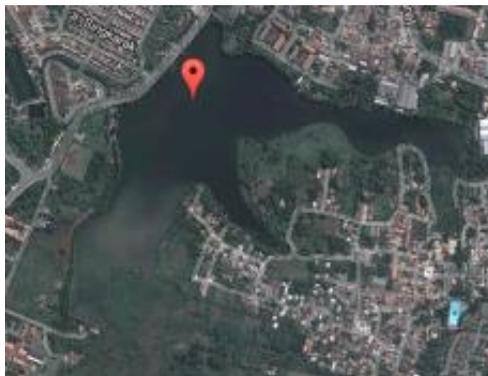
Pembentukan zona menunjukkan bahwa isolat bakteri heterotrofik dapat menghambat pertumbuhan bakteri target yang tumbuh pada perairan tercemar, sehingga bakteri heterotrofik akan mendominasi perairan tersebut. Dengan demikian isolat bakteri heterotrofik tersebut dapat dijadikan sebagai biomonitoring kualitas perairan tawar, khususnya pada perairan Situ Cikaret, Cilodong, dan Tonjong. Kriteria suatu isolat dapat dijadikan sebagai bioindikator atau biomonitorng, antara lain: memiliki fungsi keystone spesies, mudah bereproduksi, memiliki siklus hidup yang cukup cepat, serta jumlah spesies dan individu cukup banyak. Sifat-sifat tersebut dimiliki oleh isolat bakteri heterotrofik tersebut. Lebih lanjut Ellenberg (1991) melaporkan bahwa kelompok bakteri merupakan indikator biologi ekosistem yang sangat baik, dibanding dari kelompok lainnya: alga hijau, fitoplankton, dan *zoobenthos*. Nybakken (1992) dan Nontji (1993) melaporkan bahwa organisme perairan dapat digunakan sebagai indikator pencemaran karena habitat, mobilitas dan umurnya yang relatif lama mendiami suatu wilayah perairan tertentu. Lebih lanjut Mc Geoch (1998) dalam Alis dan Fajar (2007) melaporkan bahwa bioindikator atau indikator ekologis merupakan takson atau kelompok organisme yang sensitif dan dapat dijadikan petunjuk bahwa mereka dipengaruhi oleh tekanan lingkungan akibat dari kegiatan manusia dan destruksi sistem biotik.

Keadaan Umum Situ

1. Situ Cikaret

Perairan situ Cikaret terletak di Desa Harapan Jaya, Kecamatan Cibinong Kabupaten Bogor, Propinsi Jawa Barat. Situ ini dikelilingi oleh beberapa desa, antara lain: Desa Tengah, Harapan Jaya, dan Pakansari, yang sebagian penduduknya memanfaatkannya untuk mencari ikan, mandi, dan mencuci. Secara geografis, daerah perairan terletak pada 6°28'LS dan 106°52'BT, serta pada ketinggian 125 m dpl. Cikaret merupakan situ terbesar dengan kedalaman air sekitar 4-6m (Wardiatmo, Anggraeni, Ubaidillah, dan Maryanto, 2003). Menurut data dari kantor Pengelola Sumber Daya Air (PSDA), luas permukaan Situ Cikaret pada tahun 2006 sekitar 25ha dan pada tahun 2007 mengalami pelebaran menjadi 29.50ha karena ada pengerukan oleh Kementerian Pemukiman, tetapi pada tahun 2008 mengalami penyempitan kembali menjadi 18.91ha dengan keliling 3.325m.

Situ Cikaret dimanfaatkan sebagai tempat berwisata oleh masyarakat luas. Kegiatan tersebut, secara tidak langsung akan berdampak pada perairan situ Cikaret, karena tidak sedikit masyarakat yang membuang sampah atau sisa pada perairan Situ Cikaret tersebut. Dalam menanggulangi atau memperlambat kerusakan yang terjadi diperlukan suatu pengelolaan yang tepat antara lain dengan memanfaatkan bakteri heterotrofik sebagai biomonitoring kualitas perairan tawar.



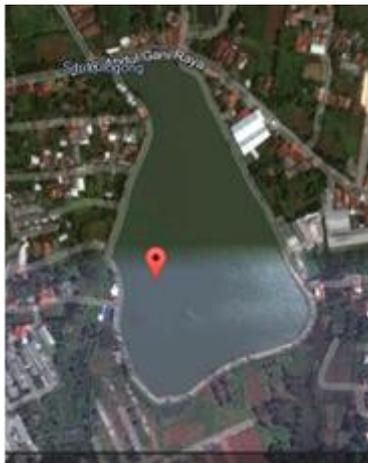
Sumber: maps.google.com

Gambar 3. Lokasi Sampling Situ Cikaret

2. Situ Cilodong

Situ Cilodong terletak di pinggir jalan desa dan tidak jauh dari jalan raya Bogor-Jakarta. Situ ini merupakan situ buatan yang bertujuan untuk mengairi persawahan yang ada di sekitarnya. Luas situ pada mulanya adalah 10ha, namun berkurang mejadi sekitar 5.5ha. Pengurangan ini disebabkan oleh kegiatan manusia. Pinggiran situ dijadikan daerah persawahan dan perkebunan. Situ ini relatif dangkal, kedalamannya hanya berkisar antara 0.5-2.0m dengan dasar perairan berlumpur (Wardiatmo *et al.*, 2003).

Situ Cilodong berada kurang lebih lima kilometer di sebelah timur kompleks Sektor Azalea dan terletak di pinggir jalan Abdul Gani, Depok. Situ Cilodong dalam sejarahnya ternyata juga pernah mengalami kerusakan namun sudah pernah diperbaiki. Disebutkan tahun 2004, Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kota Depok pernah menyebutkan 26 situ yang ada di Kota Depok tercemar limbah berbahaya, termasuk Situ Cilodong. Selain tercemar limbah rumah tangga, beberapa situ juga tercemar limbah industri. Dalam menanggulangi atau memperlambat kerusakan yang terjadi diperlukan suatu pengelolaan yang tepat antara lain dengan memanfaatkan bakteri heterotrofik sebagai biomonitoring kualitas perairan tawar.



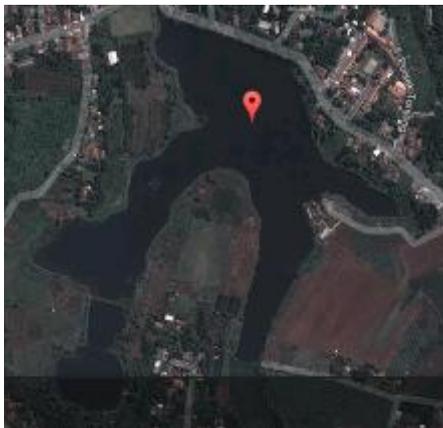
Sumber: maps.google.com

Gambar 4.
Lokasi Sampling Situ Cilodong

3. Situ Tonjong

Situ Tonjong merupakan salah satu situ yang terletak di Kecamatan Bojong Gede, Bogor. Sumber air berasal dari mata air dan satu inlet. Perairan ini memiliki empat teluk dengan ukuran yang berbeda-beda. Di daerah tersebut terdapat bagian situ yang telah dibendung oleh masyarakat untuk dijadikan kolam perikanan (Wardiatmo *et al.*, 2003).

Situ Tonjong merupakan sebuah danau alam yang cukup luas (14,44 hektar). Sekarang kios-kios penjual aneka barang dagangan pun bermunculan, bahkan areal situ Tonjong dimanfaatkan untuk perumahan. Padahal areal situ Tonjong ini diperuntukkan bagi upaya konservasi alam. Pembangunan telah melanggar Perda Provinsi Jawa Barat No. 8/2005 tentang Garis Sempadan Situ dan Danau karena di dalam Perda tersebut dinyatakan bahwa garis sempadan antara situ dengan bangunan minimal 50 meter. Sementara pengembang telah melakukan aktivitasnya jauh hingga mendekati tepi danau. Secara tidak langsung hal ini akan sangat berpengaruh pada kualitas perairan di situ Tonjong. Dalam menanggulangi atau memperlambat kerusakan yang terjadi diperlukan suatu pengelolaan yang tepat antara lain dengan memanfaatkan bakteri heterotrofik sebagai biomonitoring kualitas perairan tawar.



Sumber: maps.google.com

Gambar 5.
Lokasi Sampling Situ Tonjong

Pertumbuhan bakteri heterotrofik di perairan juga didukung oleh faktor lingkungan, diantaranya yaitu kadar oksigen terlarut (DO), pH, salinitas, dan suhu. DO merupakan faktor penting bagi kehidupan mikroorganisme akuatik dan salah satu parameter penting dalam penentuan kualitas air. Oksigen terlarut akan langsung berpengaruh pada kemampuan bakteri heterotrofik untuk bertahan di perairan tercemar. Bakteri heterotrofik biasanya membutuhkan konsentrasi 5-8 ppm untuk dapat hidup secara normal (Naster, 1991 dalam Wibowo, 2004). Salah satu cara untuk menentukan kualitas air dan menganalisis pencemaran air adalah dengan mengukur oksigen terlarut secara langsung menggunakan elektroda atau pengukuran DO. Nilai DO suatu perairan dipengaruhi pula oleh beberapa faktor selain faktor pencemaran, yaitu suhu air, dan aerasi. DO ini secara langsung menentukan jenis organisme yang dapat hidup di suatu perairan. Suhu untuk aktivitas bakteri adalah 25-35°C, dan suhu optimum bagi bakteri heterotrofik untuk proses nitrifikasi adalah 28°C. Kelarutan oksigen berkorelasi terbalik dengan suhu dan salinitas. Semakin tinggi suhu atau salinitas semakin rendah konsentrasi oksigen terlarutnya. Salah satu faktor lingkungan yang dapat menghambat pertumbuhan organisme nitrifikasi adalah rendahnya pH. pH optimum bagi bakteri nitrifikasi adalah 7.2-9.0. Menurut Waluyo (2009) pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme banyak dipengaruhi oleh konsentrasi ion hidrogen, misalnya pH. Pada kebanyakan bakteri umumnya tumbuh optimum antara pH 6.6-8.5. pH rata-rata pada kebanyakan danau adalah 7.0 dan pada kebanyakan sungai besar memiliki pH 7.5, serta pada permukaan laut mempunyai pH 8.2. Proses respirasi dapat menurunkan pH, dan sebaliknya proses fotosintesis dapat menaikkan nilai pH. Oleh karena itu, pH dapat memberikan dampak pada ekosistem perairan.

Hasil pengukuran pada tiga situ diperoleh nilai kandungan DO (oksigen terlarut) berkisar antara 5.2-6.4 mg/l, suhu 26.7-27.3°C, dan pH cenderung asam 5.26-6.73. Secara rinci hasil pengukuran selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3 (Winarni *et al.*, 2014).

Tabel 3. Rata-rata Hasil Pengukuran DO, pH, dan Suhu

No.	Tempat Sampling	Parameter Penunjang (rata-rata)		
		DO (mg/l)	pH	Suhu (°C)
1.	Situ Cikaret	5.4	6.73	26.7
2.	Situ Cilodong	6.4	5.26	27.3
3.	Situ Tonjong	5.2	6.46	27

Menurut Boyd (1990), jika kandungan DO pada suatu perairan tawar ≥ 5 mg/l maka perairan tersebut termasuk dalam kategori tercemar ringan. Hal ini menunjukkan bahwa perairan pada ke-3 lokasi sampling situ Cikaret, Cilodong, dan Tonjong termasuk dalam kategori tercemar ringan. Setyobudiandi (1997) melaporkan bahwa kualitas perairan terbagi dalam 4 jenis, yaitu: tidak tercemar ($DO \geq 6.8$ mg/l), tercemar ringan ($DO 4.5-6.8$ mg/l), tercemar sedang ($DO 2.0-4.4$ mg/l), dan tercemar berat ($DO \leq 2$ ppm). Dengan demikian kandungan DO dapat digunakan untuk menentukan seberapa jauh tingkat pencemaran air lingkungan telah terjadi.

Tinggi rendahnya DO antara lain dipengaruhi oleh suhu. DO berkorelasi terbalik dengan suhu, semakin tinggi suhu maka DO semakin rendah, dan sebaliknya semakin tinggi DO maka suhu semakin rendah. Pada tabel 3 terlihat bahwa dengan meningkatnya DO akan diikuti dengan turunnya suhu, hal ini terlihat pada situ Tonjong dan Cikaret. Suhu pertumbuhan untuk aktivitas bakteri nitrifikasi adalah $25-35^{\circ}\text{C}$ dan optimum pada suhu 28°C . Dengan demikian kisaran suhu yang diperoleh pada penelitian ini sesuai dengan pertumbuhan kelompok bakteri nitrifikasi. Kandungan oksigen mulai menurun karena bakteri banyak melakukan dekomposisi limbah. Bila oksigennya sedikit, maka bakteri aerobik akan cepat mati dan tergantikan oleh bakteri anaerobik yang akan mendekomposisi dan menggunakan oksigen yang disimpan dalam molekul-molekul yang telah dihancurkan. Hasil dari kegiatan bakteri anaerobik antara lain H_2S , gas yang berbau busuk dan berbahaya, serta produk lainnya (Tantowi, 2007). Menurut Yeanny (2011), kualitas air yang berpengaruh terhadap keanekaragaman fitoplankton sebagai bioindikator adalah oksigen terlarut (DO).

Selain DO dan suhu, pH juga dapat digunakan untuk mengetahui kualitas suatu perairan. pH air akan mempengaruhi tingkat kesuburan suatu perairan karena berpengaruh pada kehidupan mikroorganisme. Kaitan

antara pH dengan nilai DO adalah bila pH rendah maka kandungan DO berkurang. Hal ini terlihat pada tabel 3 bahwa dengan turunnya kandungan DO akan diikuti dengan turunnya pH, seperti yang terjadi pada situ Tonjong dan Cikaret. Diduga bakteri yang tumbuh pada ke-3 lokasi tersebut merupakan bakteri yang menyukai lingkungan sedikit asam. Tinggi rendahnya pH dipengaruhi oleh senyawa atau kandungan yang berada dalam air. Faktor yang mempengaruhi pH antara lain sisa-sisa pakan dan kotoran yang mengendap di dasar air.

Bila dilihat dari hasil pengukuran parameter penunjang, maka situ Cikaret, Cilodong, dan Tonjong merupakan perairan yang telah tercemar, meskipun masih tergolong tercemar ringan. Sehingga perlu dilakukan usaha penanggulangan untuk mengurangi tingkat pencemaran melalui suatu pengelolaan yang tepat antara lain dengan memanfaatkan bakteri heterotrofik sebagai biomonitoring kualitas perairan tawar. Pencemaran dapat berasal dari: 1) tingginya kandungan sedimen yang berasal dari erosi, kegiatan pertanian, penambangan, konstruksi, pembukaan lahan, dll; 2) limbah organik dari manusia, hewan, dan tumbuhan; 3) kecepatan pertambahan senyawa kimia yang berasal dari aktivitas industri yang membuang limbah ke perairan.

Berdasarkan uji efektivitas isolat bakteri heterotrofik terhadap bakteri yang tumbuh pada perairan tercemar dan pengukuran parameter DO, pH, dan suhu, maka isolat bakteri heterotrofik dimungkinkan untuk dijadikan sebagai salah satu bioindikator atau biomonitoring aktivitas penguraian senyawa organik yang menunjukkan kesuburan suatu perairan, khususnya situ Cikaret, Cilodong, dan Tonjong.

KESIMPULAN

Air mutlak diperlukan dalam kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Tanpa air kehidupan tidak dapat berlangsung. Demikian juga dalam kehidupan sehari-hari, air sangat diperlukan untuk berbagai kegiatan baik dalam rumah tangga, pertanian, maupun industri. Salah satu dampak dari peledakan jumlah penduduk dan perkembangan teknologi adalah pencemaran terhadap lingkungan perairan. Pada batas-batas tertentu lingkungan mampu membersihkan dirinya dari segala macam zat pencemar. Namun, bila jumlahnya sudah melebihi kemampuan lingkungan, maka untuk mengatasinya memerlukan keterlibatan manusia.

Saat ini mikroba banyak dimanfaatkan untuk memperbaiki kualitas lingkungan perairan. Hal ini disebabkan mikroba mampu merespon perubahan fisika atau kimia dalam suatu lingkungan sehingga dapat digunakan sebagai indikator alami terhadap perubahan lingkungan akibat dari pencemaran. Bahan pencemar dapat bermacam-macam mulai dari bahan yang berasal dari sumber-sumber alami sampai bahan sintetik, dengan sifat yang mudah dirombak (*biodegradable*) sampai sangat sulit bahkan tidak bisa dirombak (*rekalsitran/nonbiodegradable*) maupun bersifat racun bagi jasad hidup dengan bahan aktif tidak rusak dalam waktu lama (*persisten*). Beberapa mikroba telah diketahui dapat mendegradasi bahan pencemar tersebut, diantaranya bakteri heterotrof. Bakteri heterotrof juga dapat berperan sebagai biomonitoring.

DAFTAR PUSTAKA :

- Achmad, R. (2004). *Kimia lingkungan*. Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- Arianto.S. (2008). Pengertian pencemaran. Diunduh dari <http://smileboys.blogspot.com/2008/08/pengertian-pencemaran.html>.
- Aguskrisno. 2011. *Mikroorganisme Sebagai Indikator Baik Buruknya Kualitas Lingkungan Alam*. <https://aguskrisnoblog.wordpress.com>. Diunduh pada 10 Agustus 2016.
- Ali, S., A., K.. J., & B.L. Fajar. (2007). *The use of bioindicators to determine the environmental health quality*. INEPO Project Competition. Kharisma Bangsa School of Global Education.
- Amsterdam, D. (1992). *Susceptibility*. Dalam Alexander, M., D.A., Hopwood, Iglewski, B.H. dan Laskin, A.I., peny. *Encyclopedia of Microbiology*. San Diego: Academic Press Inc.,
- Boyd. C. E. (1990). *Water quality in ponds for aquaculture*. Birmingham CO, Birmingham, Alabama.
- Ellenberg, H. (1991). *Biological monitoring, signals from the environment*. Doutsches Zentrum Fur Entwicklung Stecnologien-GATE. Eschborn.
- Effendi, H. (2003). *Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Hakim Ayu R.W dan Trihadiningrum Y. (2012). Studi kualitas air Sungai Brantas berdasarkan makroinvertebrata. *J. Sains dan Seni Pomits*, 1 (1), 1-6.
- Hindarko, S. (2003). *Mengolah air limbah*. Jakarta: Penerbit Esha Seri Lingkungan Hidup.
- Google Maps (2016). Retrieved from <http://www.mapsgoogle.com>

- Irianto, A dan Hendrati, M. (2003). Biodiversity of aerobic heterotrophic bacteria from Baron beach, Gunung Kidul, Yogyakarta. *J. Biodiversitas*, 4 (2), 80-82.
- Jamilah, I.T., Meryandini, A., Rusmana I., Suwanto, A. Rachmania, M. (2009). Activity of Proteolytic and Amylolytic Enzymes from *Bacillus* spp. Isolated from Shrimp Ponds. *Microbiology Indonesia*, 3, 2, 67-71.
- Lewaru, S., Riyantini, I, Mulyani, Y. (2012). Identifikasi bakteri indigenous pereduksi logam berat Cr (VI) dengan metode molekuler di Sungai Cikijing Rancaekek, Jawa Barat. *J. Perikanan dan Kelautan*. Vol 3, No. 4, Desember: 81-92.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., & Parker, J. (2000). *Brock: biology of microorganisms*. New Jersey American: Prentice Hall
- Mukono, H. (2006). *Prinsip dasar kesehatan lingkungan*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Nontji, A. (1993). *Laut nusantara*. Cetakan Kedua. Jakarta: Djambatan.
- Nybakken, J. W. (1992). *Biologi laut suatu pendekatan ekologis*. Jakarta: PT. Gramedia.
- Parwanayoni, S. (2008). Pergantian populasi bakteri heterotrofik, alga, dan protozoa di Lagoon btcd penanganan limbah Nusa Dua Bali. *J. Bumi Lestari*. (8):180-185.
- Prihantini, N.B., Wardhana, W., Hendrayanti, D., Widyawan, A., Ariyani, Y., & Rianto, R. (2008). Biodiversitas cyanobacteria dari beberapa situ atau danau di kawasan Jakarta-Depok-Bogor, Indonesia. *J. Makara, Sains*. 12 (1). 44-54.
- Rahayu S, Widodo R. H., van Noordwijk M, Suryadi I & Verbist B. (2009). *Monitoring air di daerah aliran sungai*. Bogor: World Agroforestry Centre - Southeast Asia Regional Office. 104 p.

- Setyobudiandi, I. (1997). *Makrozoobentos*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sigeo, D.C. (2005). *Freshwater microbiology, biodiversity, and dynamic interaction of microorganism in the aquatic environment*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Suarsini, E. (2006). *Bioremediasi limbah cair rumah tangga menggunakan konsorsia bakteri indigen yang berpotensi pereduksi polutan*. Disertasi Program Studi Pendidikan Biologi. Universitas Negeri Malang. 211 hal.
- Tantowi. (2007). *Total suspended solid (TSS)*. <https://www.scribd.com>: Diunduh 30 Desember 2014.
- Tjokrokusumo, S. (2006). *Makroinvertebrata sebagai bioindikator*. *J. Hidrosfir*. 1 (1) Hal: 8-20.
- Waluyo, L. (2009). *Mikrobiologi lingkungan*. Malang: UMM press..
- Wardiatno, Y., Anggraeni, I., Ubaidillah, R., Maryanto, I. (2003). *Profil dan permasalahan perairan tergenang (situ, rawa, dan danau)*. <http://elibpdis.lipi.go.id>: Diunduh 18 Juli 2011.
- Wibowo, H. (2004) *Tingkat Eutrofikasi Rawa Pening Dalam Kerangka Kajian Produktivitas Primer Fitoplankton* [Tesis]. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Winarni, I, Saptari T. H, Nastiti, T., R. (2013). *Pemanfaatan enzim amilolitik bakteri heterotrofik dalam menurunkan tingkat pencemaran perairan tawar*. Laporan Penelitian Hibah Bersaing. Dikti.
- Winarni, I, Saptari T. H., Nastiti, T., R. (2014). *Efektivitas bakteri heterotrofik asal Situ Cibuntu-lipi, Cibinong, Bogor sebagai biomonitoring kualitas perairan tawar pada situ Cikaret (Bogor), Cilodong (Depok), dan Tonjong (Bogor)*. Laporan Penelitian Bidang Ilmu. UT.

- Wizna, W., Abbas, H., Rizal, Y., Dharma, A., & Putu, K. (December 01, 2007). Selection and Identification of Cellulase-Producing Bacteria Isolated from the Litter of Mountain and Swampy Forest. *Microbiology Indonesia*, 1 (3) 135-139.
- Yeanny, M.S. (2011). Komunitas fitoplankton sebagai bioindikator kualitas air Sungai Belawan. Prosiding Seminar Nasional Biologi: Meningkatkan Peran Biologi dalam Mewujudkan National Achievement with Global Reach. Universitas Sumatera Utara. USU Press.

