

LIMNOLOGY

Kajian Menyeluruh Mengenai Perairan Darat



HARLINA



Limnologi

Kajian Menyeluruh Mengenai Perairan Darat

Oleh :

Harlina

Editor :

Candra Gunawan

Andi Hamdillah

Dilarang keras mengutip, menjiplak, atau mengkopi, baik sebagian atau seluruh, isi buku ini!

© HAK CIPTA DILINDUNGI OLEH UNDANG-UNDANG

Dicetak Oleh :

Gunawana Lestari

2021

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakaatuh.

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah *Subhanahu Wata'ala* yang telah menganugerahkan kesehatan, kesempatan, ide, dan kemampuan serta petunjuk sehingga penulisan buku ajar Limnologi ini dapat diselesaikan.

Buku Limnologi ini merupakan salah satu buku yang dapat dijadikan sebagai buku referensi bagi dosen dalam proses belajar mengajar pada mata kuliah Limnologi. Penerbitan buku ini diharapkan dapat membantu mahasiswa dapat menambah wawasan tentang limnologi dengan segala aspek yang terkait dan dapat membantu mahasiswa dalam memahami proses pembelajaran yang sedang berlangsung. Buku ini diharapkan dapat menjadi bahan diskusi sehingga tercipta interaksi yang lebih intensif antara dosen dan mahasiswa sehingga tercipta suasana yang lebih interaktif sehingga tujuan pembelajaran dapat tercapai.

Penulis menyadari bahwa penyusunan buku *Limnologi* ini masih jauh dari kesempurnaan. Pepatah mengatakan bahwa tak ada gading yang tak retak. Oleh karena itu, penulis memohon kepada pembaca yang budiman, jika menjumpai kekeliruan dan kekurangan dalam buku ini, sudilah kiranya memberikan saran dan koreksinya sehingga buku ini dapat menjadi lebih sempurna. Semoga Allah menjadikannya sebagai amal saleh bagi penulis dan pihak-pihak yang terkait dalam penerbitan buku ini.

Segala puji bagi Allah, Tuhan semesta alam, dan semoga selawat dan salam tercurahkan kepada junjungan dan panutan kita, Rasulullah Muhammad *sallallahu alaihi wasallam* dan keluarganya, para sahabatnya, dan orang-orang yang mengikutinya sampai hari pembalasan nanti. Amin.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakaatuh.

Makassar, 15 April 2020

Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	i
DAFTAR ISI.....	iv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Pengertian dan Ruang Lingkup Limnologi	1
1.2. Sejarah Perkembangan Limnologi	4
1.3. Hubungan Limnologi dengan Ilmu Lain.....	7
BAB II PERAIRAN DARAT SEBAGAI LINGKUNGAN HIDUP.....	8
2.1. Air Sebagai Lingkungan hidup	8
2.2. Perbedaan Perairan Darat dengan Perairan Laut.....	18
2.3. Sumber dan Manfaat Air	19
BAB III JENIS DAN KARASTERISTIK PERAIRAN MENGGENANG (PERAIRAN LENTIK).....	23
3.1. Danau	23
3.2. Rawa.....	35
3.3. Waduk.....	40
BAB IV JENIS DAN KARASTERISTIK PERAIRAN MENGALIR (PERAIRAN LOTIK).....	46
4.1. Sungai.....	46
4.2. Selokan.....	54
BAB V ASPEK FISIKA PERAIRAN DARAT	58
5.1. Berat Jenis (<i>Density</i>).....	58
5.2. Kekentalan Air (Viskositas)	59
5.3. Tegangan Permukaan	60
5.4. Radiasi Matahari.....	61
5.5. Kecerahan	65
5.6. Kekeruhan	68
5.7. Warna Air.....	69
BAB VI SIKLUS SUHU TAHUNAN.....	71
6.1. Pengaruh Suhu	71
6.2. Stratifikasi Suhu	75
6.3. Siklus Suhu Tahunan.....	80
BAB VII PERGERAKAN AIR DAN ARUS.....	90
7.1. Pergerakan air	90
7.2. Arus Air	91
BAB VIII ASPEK KIMIA PERAIRAN DARAT	97

8.1. Oksigen.....	98
8.2. Karbondioksida	114
8.3. Alkalinitas.....	125
8.4. Kesadahan Total.....	132
8.5. Salinitas	135
8.6. Derajat Keasaman (pH)	137
BAB IX UNSUR-UNSUR HARA DALAM PERAIRAN	140
9.1. Unsur hara Makro	140
9.2. Unsur Hara Mikro (<i>Trace elemen</i>).....	163
BAB X BAHAN ORGANIK TERLARUT DAN TIDAK TERLARUT DALAM PERAIRAN	172
10.1. Bahan Organik Terlarut Dalam Perairan.....	173
10.2. Bahan Organik Tidak Terlarut.....	177
BAB XI ASPEK BIOLOGI PERAIRAN DARAT	184
11.1. Komunitas Planktonis : Alga	184
11.2. Komunitas Planktonis : Zooplankton dan Interaksinya dengan Ikan	198
11.3. Komunitas littoral : Tumbuhan tingkat tinggi	198
11.4. Komunitas Litoral: Alga dan Zooplankton	205
REFERENSI	209
BIOGRAFI PENULIS	215

BAB I**PENDAHULUAN****1.1 Pengertian dan Ruang Lingkup Limnologi**

Limnologi dari bahasa Yunani limnos yaitu genangan, danau, atau rawa dan logos yaitu ilmu. Danau itu sendiri adalah sejumlah air yang terakumulasi di suatu tempat yang cukup luas, yang dapat terjadi karena mencairnya gletser, aliran air sungai, atau karena adanya mata air. Sehingga definisi Limnologi adalah Ilmu yang mempelajari komponen di perairan darat, terdiri dari komponen biotik, abiotik, serta proses dan interaksi di antaranya. Para ahli mencoba menyederhanakan Limnologi ilmu yang mempelajari proses interaksi faktor fisika, kimia dan biologi dalam sistem perairan darat (inland waters), dimulai dari garis pantai ke arah darat.

Istilah limnologi pertama kali digunakan oleh Forel (1901) di dalam bukunya yang berjudul *Handbuch der Seekunde, Allgemeine Limnologie*. Buku tersebut membahas tentang ekosistem danau. Sebenarnya limnologi telah diperkenalkan lebih dulu oleh Zacharias (1891) yang mendirikan laboratorium penelitian di bidang limnologi, Thienemaa kemudian mengembangkannya dan memberi nama institusi tersebut Institut Max-Planck. Sejak saat itu limnologi berkembang cukup pesat. Pada dekade 90-an limnologi menjadi sebuah ilmu yang menyedot perhatian dunia, terutama disebabkan karena besarnya kebutuhan air bersih untuk kepentingan domestik, tetapi ketersediaan air bersih di alam semakin menipis akibat berbagai aktifitas manusia baik secara langsung maupun tidak langsung.

Aktivitas pembuangan limbah rumah tangga dan industri ke dalam badan sungai menyebabkan kualitas air sungai jatuh pada kondisi tidak layak sebagai sumber air bersih untuk kepentingan rumah tangga. Pemanfaatan danau sebagai daerah objek wisata dengan membangun fasilitas pendukung disekitarnya menyebabkan danau cepat mengalami pendangkalan dan menurunkan kualitas air di dalamnya. Berkembangnya pemukiman penduduk, pesatnya pembangunan perkotaan, dan penebangan hutan menyebabkan berkurangnya daerah resapan air sehingga air hujan akan mengalir menjadi air permukaan menuju ke laut atau menguap. Masih banyak lagi perilaku yang menyebabkan ketersediaan air bersih semakin menipis

Pengertian Limnologi pada mulanya hanya mengenai danau, tetapi dengan perkembangan ilmu pengetahuan sungai-sungai akhirnya dimasukkan ke dalam Limnologi. Kedua perairan ini memiliki perbedaan dalam beberapa hal sehingga dibutuhkan cara pengamatan atau penelitian yang berbeda. Dalam Limnologi juga dibahas tentang sifat-sifat fisika, kimia lingkungan perairan darat, yang berkaitan dengan proses yang terjadi di dalam perairan darat yang mencakup semua perairan yang berada di daratan, mulai batas garis pantai ke arah darat.

Limnologi merupakan cabang ekologi yang mengungkapkan kaitan/hubungan fungsional antar komponen ekosistem perairan darat yang mencakup komponen abiotik dan biotik. Secara terinci komponen itu adalah terdiri dari air, habitat, dan komunitas biota akuatik. mempelajari tentang sifat dan struktur dari perairan daratan. Kajian dalam mata kuliah ini adalah mengungkap struktur dan fungsi

hubungan antara organisme perairan darat kaitannya dengan dinamika fisik, kimia dan biologi lingkungannya.

Limnologi mempelajari kehidupan yang terdapat di ekosistem, baik sebagai individu maupun pada tingkatan organisasi yang lebih tinggi. Interaksi antar sesamanya dan dengan lingkungannya akan selalu terjadi. Limnologi menjelaskan tentang kehidupan di dalam ekosistem perairan darat, bagaimana memanfaatkan dan mengoptimalkan potensi perairan darat secara berkelanjutan namun tetap menjaga kelestarian ekosistem tersebut

Di dalam Limnologi perairan yang termasuk perairan darat adalah:1). Perairan menggenang (dikenal dengan istilah Lentik) dibedakan menjadi perairan alamiah dan buatan. Berdasarkan proses pembentukannya perairan alami dibedakan menjadi perairan yang terbentuk karena aktifitas tektonik dan karena aktifitas vulkanik. Beberapa contoh perairan lentik yang alamiah antara lain: danau, rawa, situ, dan telaga, sedangkan perairan buatan antara lain adalah waduk (reservoir), dan 2). Perairan yang mengalir (dikenal dengan istilah Lotik) mencakup sungai dan selokan.

Menelaah komponen air sebagai lingkungan hidup, sifat-sifat perairan darat, dan kekuatan-kekuatan dan proses-proses yang membentuk dan mempertahankan integritas perairan-perairan ini, hubungan antara air dan dasar, dan dengan komuniti jasad-jasad hidup yang mendiami lingkungan tersebut.

Dengan demikian dalam mata kuliah ini akan dibahas tentang perkembangan limnologi, ilmu-ilmu yang terkait yang terkait, asal usul dan proses pembentukan danau dan estuaria, struktur ekosistem perairan dan eutrofikasi, jenis dan karakteristik perairan menggenang dan perairan lentik air berupa sifat fisik

perairan darat meliputi berat jenis, kekentalan air, tegangan permukaan, radiasi matahari, penyebaran cahaya, kecerahan dan kekeruhan dan pengaruhnya di dalam perairan, keadaan suhu perairan, siklus suhu tahunan di daerah yang mengalami pergantian musim, pergerakan air dan pola arus.

Demikian pula faktor-faktor kimia yang mempengaruhi kehidupan organisme di perairan, meliputi oksigen terlarut dan karbon dioksida, alkalinitas, kesadahan, salinitas, pH di perairan, keberadaan nitrogen, phosphor dan nutrien-nutrien lainnya di perairan, serta berbagai aspek biologi meliputi berbagai kelompok organisme di perairan danau, sungai dan estuaria, keberadaan komunitas plankton dalam hal ini phytoplankton, zooplankton dan zoobenthos di perairan, tumbuhan tingkat tinggi dan organisme ikan, dinamika rantai makanan di perairan, dan limnologi terapan

1.2 Sejarah Perkembangan Limnologi

Istilah Limnologi pertama kali digunakan oleh seorang ilmuwan yang berasal dari Swiss yaitu Francois Alfonso Forel (1901) di dalam bukunya yang berjudul *Handbuch der Seekunde, Allgemeine Limnologie*. Isi buku tersebut menjelaskan tentang ekosistem danau. Buku tersebut mendefinisikan sebagai cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang komponen biotik di perairan darat permukaan yang bersifat menggenang atau lentik. Dussart (1966), melengkapi definisi limnologi sebagai cabang ilmu yang mempelajari seluruh fenomena dan saling interaksi antar komponen biotik dan abiotik yang terjadi di dalamnya, baik ekosistem perairan darat permukaan yang mengalir (lotik) maupun yang tergenang (lentik)

Sebelumnya limnologi telah diperkenalkan oleh Zacharias (1891) kemudian mendirikan laboratorium penelitian di bidang limnologi,

Laboratorium tersebut dikembangkan oleh Thienemaa dan diberi nama InstitutMax-Planck. Sejak saat itu limnologi berkembang cukup pesat. Ilmu limnology di tahun 90-an berhasil menyedot perhatian dunia, karena besarnya kebutuhan air bersih untuk kepentingan domestik, tetapi air bersih yang tersedia di alam semakin menipis diakibatkan oleh beragam aktifitas manusia.

Limbah industri dan rumah tangga yang terbuang ke sungai karena manusia menyebabkan kualitas air sungai berada dalam kondisi tidak layak untuk digunakan sebagai sumber air bersih dalam kehidupan sehari-hari. Danau yang dimanfaatkan sebagai lokasi wisata dengan membangun fasilitas pendukung telah menjadi penyebab menurunnya kualitas perairan danau. Pemukiman penduduk yang semakin berkembang, pembangunan perkotaan yang semakin pesat, dan hutan yang ditebang merupakan beberapa penyebab berkurangnya daerah resapan air sehingga air hujan akan mengalir menjadi air permukaan menuju ke laut atau menguap.

KTT Bumi yang diselenggarakan pada tahun 1992 di Brasil menghasilkan kesepakatan yang dikenal dengan nama Agenda 21. Salah satu komitmen bersama yang dihasilkan dalam rapat KTT adalah manajemen global yang bertujuan untuk dapat menjaga kelestarian alam termasuk air bersih. Selanjutnya pada tahun 1992 diadakan *World Summit on Sustainable Development* yang bertempat di Johannesburg. Pertemuan tersebut menghasilkan kesepakatan yang dikenal dengan istilah Rio+10. Kesepakatan tersebut berisi tentang prioritas penyediaan air bersih untuk penduduk miskin dunia di tahun 2015. PBB juga mengeluarkan Resolusi no 55/196 tahun 2003 dan menjadikan tahun itu sebagai *International Year of Fresh Water*.

Tahun 2003 di Jepang juga diselenggarakan pertemuan *World Water III* dengan tujuan mendapat kesepakatan dalam pemanfaatan danau dan reservoir secara sustainable yang berfokus pada keunikan, keragaman manfaat dan kepentingan danau dan reservoir dalam kehidupan manusia.

Di Indonesia perkembangan limnologi secara tidak langsung juga cukup pesat meskipun belum terorganisasi secara baik. Sampai saat ini belum ada lembaga yang khusus mengelola sumber daya air daratan. Perusahaan air minum, masih pada tahap eksploitasi. Otoritas waduk juga masih belum optimal dalam pengelolaan. Kementerian Lingkungan Hidup juga masih berkulat pada persoalan-persoalan teknis. Manajemen sumber daya perairan darat yang *sustainable* memang bukan persoalan mudah dan harus terintegrasi. Melihat persoalan yang begitu rumit maka sebenarnya kesadaran masing-masing individu untuk bersikap arif dan bijak dalam memanfaatkan sumber daya alam yang tersedia sangat dibutuhkan. Pendekatan sosial, budaya, agama, dan akademis serta pendekatan hukum formal yang terintegrasi mungkin menjadi jalan keluar agar kita dapat mewariskan, apa yang diciptakan oleh Tuhan kepada generasi berikutnya. Bukankah tugas manusia sebagai Khalifah di bumi adalah menjaga dan melestarikannya?

Pada saat ini secara akademis, di Indonesia limnologi belum merupakan ilmu yang wajib tempuh di semua jenjang pendidikan. Di perguruan tinggi baru beberapa perguruan tinggi yang memasukkan limnologi sebagai mata kuliah wajib terutama di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Beberapa perguruan tinggi masih memasukkan limnologi ke dalam mata kuliah pilihan atau bahkan tidak sama sekali.

1.3 Hubungan Limnologi dengan Ilmu Lain

Limnologi merupakan ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang sifat-sifat perairan darat, danau dan sungai, kekuatan-kekuatan dan proses-proses yang membentuk dan mempertahankan integritas suatu perairan, hal yang berhubungan dengan jasad-jasad hidup yang mendiami perairan tersebut, serta hubungan antara air dan dasar perairan, oleh karena itu Limnologi mencakup beberapa aspek ilmu yang saling berhubungan.

Beberapa aspek dari ilmu lain yang berhubungan dengan Limnologi adalah: Ilmu Fisika, biologi, Geologi, dan Geokimia. Peran Ilmu Fisika, memberikan konsep mengenai pengertian dari aspek yang penting seperti penetrasi cahaya, dinamika panas, dan gerak air. Ilmu Kimia menyatakan dan mengukur bermacam-macam proses mengenai sifat kimia sedangkan ilmu Biologi memberikan pengetahuan mengenai tumbuh-tumbuhan dan hewan, metabolismenya, daur hidup dan kebiasaan hidupnya di dalam perairan. Selain itu Biologi juga membantu dalam memberi pemahaman tentang proses-proses hidup dalam sintesis protoplasma, transfer energi dalam ekosistem dan perombakan bahan organik serta pelepasan unsur-unsur hara. Kimia anorganik dan organik memberikan teknik-teknik dan prinsip-prinsip yang menyatakan dan mengukur bermacam-macam proses mengenai gas, benda cair dan benda padat. Ilmu Geologi memberikan prinsip-prinsip untuk mengerti tentang asal usul dasar danau, dan proses-proses yang ikut serta dalam perubahan dasar danau. Geokimia menghubungkan komposisi substrat dengan sifat-sifat kimia perairan.

PERAIRAN DARAT SEBAGAI LINGKUNGAN HIDUP

2.1 Air Sebagai Lingkungan hidup

Air menutupi sekitar 70% dari permukaan bumi dengan jumlah kurang lebih 1.368 juta km³. Karakteristik badan air dicirikan oleh 3 (tiga) komponen utama yaitu fisika, kimia dan biologi. Semua badan air yang ada di daratan berhubungan dengan laut dan atmosfer melalui siklus hidrologi yang berlangsung secara terus menerus. Air bisa terdapat dalam berbagai bentuk seperti uap air, es, cairan dan salju. Air tawar perairan darat terutama terdapat di danau, sungai, air tanah dan gunung es.

Air sebagai lingkungan hidup telah dijelaskan dalam Al Qur'an dalam Al Baqarah Ayat 164 sebagai berikut:

1. **إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ وَالْفُلْكِ الَّتِي تَجْرِي فِي الْبَحْرِ بِمَا يَنْفَعُ النَّاسَ وَمَا أَنْزَلَ اللَّهُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ مَّاءٍ فَأَحْيَا بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَتَصْرِيفِ الرِّيَّاحِ وَالسَّحَابِ الْمُسَخَّرِ بَيْنَ السَّمَاءِ وَالْأَرْضِ لَآيَاتٍ لِقَوْمٍ يَعْقِلُونَ**

Artinya:

Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, silih bergantinya malam dan siang, bahtera yang berlayar di laut membawa apa yang berguna bagi manusia, dan apa yang Allah turunkan dari langit berupa air, lalu dengan air itu Dia hidupkan bumi sesudah mati (kering)-nya dan Dia sebarkan di bumi itu segala jenis hewan, dan pengisaran angin dan awan yang dikendalikan antara langit dan bumi; sungguh (terdapat) tanda-tanda (keesaan dan kebesaran Allah) bagi kaum yang memikirkan.

Air sebagai lingkungan hidup adalah merupakan senyawa kimia dengan rumus kimia H₂O, artinya satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen.

Air mempunyai sifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 100 kPa (1 bar) dan suhu 273,15 K (0 °C). Zat kimia ini merupakan suatu pelarut yang penting karena mampu melarutkan banyak zat kimia lainnya, seperti garam, gula, asam, beberapa jenis gas dan senyawa organik (Scientist, 2010). Atom oksigen memiliki nilai keelektronegatifan yang sangat besar, sedangkan atom hidrogen memiliki nilai keelektronegatifan paling kecil di antara unsur-unsur bukan logam. Hal ini selain menyebabkan sifat kepolaran air yang besar juga menyebabkan adanya ikatan hidrogen antar molekul air.

Ikatan hidrogen terjadi karena atom oksigen yang terikat dalam satu molekul air masih mampu mengadakan ikatan dengan atom hidrogen yang terikat dalam molekul air yang lain. Ikatan hidrogen inilah yang menyebabkan air memiliki sifat-sifat yang khas. Sifat-sifat khas air sangat menguntungkan bagi kehidupan makhluk di bumi.

Air memiliki beberapa sifat khas yang tidak dimiliki oleh senyawa kimia lain. Diantara sifat-sifat tersebut adalah: Air memiliki titik beku 0°C dan titik didih 100°C (jauh lebih tinggi dari yang diperkirakan secara teoritis), sehingga pada suhu sekitar 0°C sampai 100°C yang merupakan suhu yang sesuai untuk kehidupan, air berwujud cair. Hal ini sangat menguntungkan bagi makhluk hidup, karena tanpa sifat ini, air yang terdapat pada jaringan tubuh makhluk hidup maupun yang terdapat di laut, sungai, danau dan badan perairan yang lain mungkin ada dalam bentuk gas ataupun padat. Sedangkan yang diperlukan dalam kehidupan adalah air dalam bentuk cair.

Air memiliki perubahan suhu yang lambat. Sifat ini merupakan penyebab air sebagai penyimpan panas yang baik, sehingga makhluk

hidup terhindar dari ketegangan akibat perubahan suhu yang mendadak. Suhu lingkungan akan terjaga tetap sesuai dengan kondisi yang dibutuhkan untuk kehidupan. Air mampu melarutkan berbagai jenis senyawa kimia, sehingga disebut sebagai pelarut universal. Sifat ini memungkinkan terjadinya pengangkutan nutrisi yang larut ke seluruh jaringan makhluk hidup dan pengeluaran bahan-bahan toksik yang masuk ke dalam jaringan tubuh makhluk hidup. Air memiliki tegangan permukaan yang tinggi. Sifat ini mengakibatkan air dapat membasahi suatu bahan secara baik. Hal ini juga dapat mendukung terjadinya sistem kapiler, yaitu kemampuan untuk bergerak dalam pipa kapiler.

Keuntungan dari adanya sistem kapiler dan sifat sebagai pelarut yang baik menyebabkan air dapat membawa nutrisi dari dalam tanah ke dalam jaringan tumbuhan (akar, batang dan daun). Air merupakan satu-satunya senyawa yang mengembang ketika membeku. Hal ini mengakibatkan densitas es lebih rendah daripada air, sehingga es akan mengapung di atas air. Keuntungan yang diperoleh dari sifat ini adalah kehidupan organisme akuatik pada daerah beriklim dingin tetap berlangsung, karena air yang membeku hanya ada di permukaan perairan saja.

Air berupa cairan pada kisaran suhu yang sesuai bagi kehidupan. Air berada dalam bentuk cairan pada kisaran suhu 0°C (32°F) yang merupakan titik beku hingga pada titik didih 100°C . Tanpa sifat tersebut, air yang berada pada jaringan tubuh makhluk hidup dan air yang berada di laut, sungai, danau dan seluruh badan air lainnya akan berupa padatan atau gas, jika sifat air seperti ini tidak akan ada kehidupan di muka bumi ini.

Air memiliki sifat perubahan suhu yang berlangsung lambat. Perubahan suhu yang lambat ini disebabkan karena air memiliki sifat sebagai penyimpan panas yang baik. Sifat ini memungkinkan air tidak menjadi panas atau menjadi dingin seketika. Perubahan suhu yang lambat ini mencegah terjadinya stress pada makhluk hidup, sehingga dapat memelihara suhu bumi agar tetap sesuai dengan kehidupan makhluk hidup. Oleh karena itu, maha besar Allah *Subhanahu Wata'ala* yang telah memberikan air dan mengalirkannya ke bumi dengan segala manfaatnya.

Air memiliki sifat tegangan permukaan tinggi. Tegangan permukaan tinggi adalah tekanan antar molekul yang tinggi sehingga air memiliki sifat yang baik dalam membasahi suatu bahan. Sifat tegangan permukaan tinggi pada air ini memungkinkan terjadinya sistem kapiler air yaitu kemampuan air bergerak pada pipa kapiler. Dengan adanya sistem kapiler dan sifat air sebagai pelarut yang baik inilah, air dapat membawa nutrien dari dalam tanah bergerak ke jaringan tumbuhan dalam hal ini akar, batang dan daun. Dengan adanya tegangan permukaan yang tinggi ini memungkinkan beberapa organisme air seperti jenis-jenis insekta dapat merayap dipermukaan air.

Sifat lain yang amat penting juga adalah air merupakan senyawa yang merenggang ketika membeku. Dengan sifat ini air yang membeku menjadi es memiliki densitas (massa/volume) yang lebih rendah sehingga es mengapung di air. Sifat demikian juga mengakibatkan danau-danau di daerah beriklim dingin hanya membeku pada bagian permukaan sedangkan pada bagian bawahnya masih berupa cairan sehingga kehidupan organisme akuatik di dalam danau tetap berlangsung.

2. Siklus Air

Siklus air atau siklus hidrologi adalah sirkulasi air yang tidak pernah berhenti dari atmosfer ke bumi dan kembali ke atmosfer melalui kondensasi, presipitasi, evaporasi dan transpirasi. Pemanasan air laut oleh sinar matahari merupakan kunci proses siklus hidrologi tersebut dapat berjalan secara terus menerus.

Sebelum membahas siklus hidrologi, ada 9 tahap yang perlu kita ketahui yang berkaitan dengan proses siklus air, yakni evaporasi, transpirasi, evapotranspirasi, sublimasi, kondensasi, adveksi, presipitasi, run off, dan infiltrasi. Berikut ini penjelasan tiap tahapnya.

1. Evaporasi. Proses evaporasi adalah proses perubahan air dari bentuk cair menjadi gas. *California Energy* menyatakan bahwa hasil proses evaporasi adalah 90% uap air pada atmosfer yang berasal dari samudera, laut, sungai, danau, dan tanah. Salah satu kebesaran Allah *Subhanahu Wata'ala* yaitu dapat mengubah air menjadi kumpulan gas di atmosfer dengan bantuan sinar matahari, yang disebut dengan awan dengan bentuk yang bergumpal-gumpal.

“Allah, Dialah yang mengirim angin, lalu angin itu menggerakkan awan dan Allah membentangkannya di langit menurut yang dikehendaki-Nya, dan menjadikannya bergumpal-gumpal,...” (QS Ar Rum : 48)

2. Presipitasi. Proses presipitasi merupakan peristiwa jatuhnya air dari atmosfer ke permukaan bumi. Ketika air diuapkan matahari dalam proses evaporasi, uap air tersirkulasikan di atmosfer kemudian terkondensasi menjadi zat cair dan terkumpul dalam butiran yang disebut *condensation nuclei*. Bentuk air dapat berupa cair dan beku yaitu hujan, embun, kabut dan salju. Tanda-tanda kekuasaan Allah

Subhanahu Wata'ala adalah Dia mampu menghembuskan angin dan menghalaukan awan, hingga awan itu terkumpul dan bertumpuk dalam gumpalan-gumpalan di langit. Ketika awan tersebut semakin hitam dan berat maka akan terjadi hujan di antara celah-celahnya.

“Tidakkah kamu melihat bahwa Allah mengarak awan, kemudian mengumpulkan antara (bagian-bagian) nya, kemudian menjadikannya bertindih-tindih, maka kelihatanlah olehmu hujan keluar dari celah-celahnya dan Allah (juga) menurunkan (butiran-butiran) es dari langit, (yaitu) dari (gumpalan-gumpalan awan seperti) gunung-gunung, maka ditimpakan-Nya (butiran-butiran) es itu kepada siapa yang dikehendaki-Nya dan dipalingkan-Nya dari siapa yang dikehendaki-Nya...” (QS An Nuur : 43)

Pada ayat tersebut Allah *Subhanahu Wata'ala* menghendaki pada tempat jatuhnya air di daerah beriklim dingin menjadi salju sedangkan jatuhnya air di daerah iklim tropis menjadi air hujan.

3. Transpirasi merupakan penguapan yang berasal dari makhluk hidup, baik itu tanaman ataupun binatang.
4. Evapotranspirasi merupakan penguapan gabungan dari evaporasi dan transpirasi. Contohnya di area persawahan terdapat genangan air dan juga tanaman, evapotranspirasi penguapan dari air dan juga tanaman tersebut.
5. Sublimasi merupakan penguapan yang berasal dari es di kutub atau puncak gunung tanpa melalui proses mencair.
6. Kondensasi merupakan proses berubahnya uap air menjadi partikel es di atmosfer, kemudian menyatu menjadi awan.
7. Adveksi merupakan proses perpindahan awan dari titik satu ke titik lain, tapi masih dalam satu horizontal.

8. Presipitasi merupakan proses mencairnya awan hitam akibat pengaruh suhu udara yang tinggi dalam bentuk hujan.
9. Infiltrasi. Proses infiltrasi adalah perjalanan air ke dalam tanah sebagai akibat gaya kapiler (gerakan air ke arah lateral) dan gravitasi (gerakan ke arah vertikal). Air yang meresap ke dalam tanah sebagian akan tertahan oleh partikel-partikel tanah dan menguap kembali ke atmosfer, sebagian lagi diserap oleh tumbuhan dan yang lain akan terus meresap di bawah permukaan bumi hingga zona yang terisi air yaitu zona saturasi.

“Dan Kami turunkan air dari langit menurut suatu ukuran; lalu Kami jadikan air itu menetap di bumi, dan sesungguhnya Kami benar-benar berkuasa menghilangkannya.” (QS Al Mu’minuun : 18)

Air yang meresap melalui pori-pori tanah kemudian tersimpan di bawah permukaan bumi yang impermeabel (tak dapat ditembus oleh air) sehingga disebut air tanah.

10. Run Off merupakan proses pergerakan air dari tempat tinggi menuju tempat yang rendah dan terjadi di permukaan bumi. Proses *surface runoff* merupakan peristiwa meluapnya air ke permukaan bumi. Ketika zona saturasi terus terisi oleh air maka air tersebut akan mencari cara untuk meloloskan diri ke permukaan bumi. Apabila air hujan terus jatuh ke permukaan bumi tetapi tanah tidak mampu menyerap maka air permukaan ini mencari celah untuk mengalir di antara palung sungai dan danau.

“Allah telah menurunkan air (hujan) dari langit, maka mengalirlah air di lembah-lembah menurut ukurannya...” (QS Ar Ra’d : 17)

Proses siklus air yang berulang-ulang ini merupakan salah satu tanda kebesaran Allah yang wajib kita syukuri.

Setelah mengetahui tahapan tersebut maka sekarang masuk dalam penjelasan siklus hidrologi. Siklus hidrologi diawali dari proses evaporasi dan diakhiri dengan infiltrasi. Uap air dari proses evaporasi, transpirasi, evapotranspirasi, dan sublimasi yang berasal daratan maupun juga lautan bergerak ke atas menuju ke atmosfer. Uap air mengalami proses kondensasi dan berkumpul menjadi satu membentuk awan. Semakin banyak partikel es yang bersatu maka semakin hitam awan yang terbentuk. Awan hitam yang telah mengalami proses adveksi akan berlanjut ke proses presipitasi. Dalam proses presipitasi tidak hanya turun hujan air, tetapi juga bisa turun hujan salju jika suhunya sangat dingin. Hujan yang telah turun kemudian akan mengalir kembali ke sungai, danau ataupun laut atau dapat dikatakan mengalami proses run off. Selain mengalir ke area yang lebih rendah, ada sebagian kecil air yang mengalami proses infiltrasi. Sehingga siklus tersebut dapat disimpulkan secara sederhana, yakni air $\Rightarrow$ uap air $\Rightarrow$ awan $\Rightarrow$ hujan $\Rightarrow$ pengaliran air $\Rightarrow$ dan kembali lagi ke uap air.

Air tawar yang tersedia tersebut secara terus menerus mengalami siklus hidrologi. Lama waktu pergantian air sungai mencapai 18-20 tahun sedangkan lama pergantian uap air yang terdapat di atmosfer sekitar 12 hari. Proses pergantian air tanah dalam (*deep ground water*) membutuhkan waktu ratusan tahun. Wilayah yang kaya air terdapat di daerah tropik dan daerah beriklim empat atau ughari (*temperate*). Wilayah yang miskin air terdapat di daerah kering (*arid* dan *semi arid*).

Siklus hidrologi air bergantung pada proses epavorasi dan presipitasi. Air yang ada dipermukaan bumi menjadi uap air di lapisan atmosfer melalui proses evaporasi (penguapan) air yang terdapat di sungai, danau, dan laut, dan proses evapotranspirasi yaitu penguapan air oleh tanaman. Uap air bergerak ke atas sampai membentuk awan. Awan berpindah tempat karena tiupan angin. Ruang udara yang mendapat akumulasi uap air secara kontinyu menjadi jenuh, dan dengan dipengaruhi oleh udara dingin pada lapisan atmosfer uap air tersebut mengalami sublimasi menyebabkan butiran-butiran uap air semakin besar dan akhirnya menjadi air yang jatuh sebagai hujan.

Proses evaporasi di laut berlangsung lebih banyak daripada di perairan daratan. Proses evaporasi di laut melebihi proses presipitasi sehingga lautan merupakan sumber air utama bagi proses presipitasi. Proses presipitasi di daratan lebih banyak dari pada evaporasi. Di daratan sekitar 50% air yang diperoleh melalui presipitasi mengalami evaporasi dan sisanya tersimpan di danau, sungai dan sebagai air tanah.

Air yang jatuh sebagai hujan tidak semuanya mencapai permukaan tanah sebagian tertahan oleh vegetasi dan bangunan. Air yang mencapai permukaan tanah sebagian masuk ke dalam tanah menjadi air tanah melalui proses infiltrasi dan sebagian mengalir ke badan air sebagai air permukaan.

Kuantitas air yang mampu diserap oleh tanah sangat tergantung pada kondisi fisik tanah seperti bobot isi (bobot tanah tiap satuan volume tanah), permeabilitas (daya tanah melalukan air), *infiltrasi* (daya tanah meresap air), *porositas* (jumlah volume udara yang terkandung dalam tanah), dan struktur tanah (bentukan hasil penyusunan butiran-butiran tanah). Sebelum mencapai jenuh, air

masih bias diserap oleh tanah jika telah melebihi kejenuhan maka air hujan yang jatuh ke permukaan tanah akan dialirkan sebagai limpasan permukaan (*surface run off*) ke badan air.

Ibnu Katsir dalam tafsirnya menjelaskan bahwa Allah telah menurunkan air dari langit, lalu ia terserap ke dalam bumi, kemudian Dia mengalirkannya ke bagian-bagian bumi sesuai apa yang dikehendaki-Nya, dan ditumbuhkan-Nya mata air-mata air di antara yang kecil dan yang besar sesuai kebutuhan. Untuk itu Allah *Ta'ala* berfirman "*maka diaturnya menjadi sumber-sumber air di bumi*".

Saat ini telah banyak dilakukan konservasi untuk permasalahan krisis air, terutama konservasi mata air sebagai sumbernya, akan tetapi di satu sisi masih banyak pula manusia yang belum dapat memanfaatkan dengan baik sumber daya ini. Semoga bermanfaat dan semoga kita bisa menjadi insan yang dapat menjaga lingkungan dan menggunakan air secara efisien, karena hal ini juga merupakan bentuk cinta kita pada ciptaan Allah *Subhanahu Wata'ala*.

Namun akhir-akhir ini, kita telah merasakan terjadinya krisis air di lingkungan kita dan krisis ini pun melanda tanah air dan negara-negara di berbagai dunia. Seperti yang dilansir dalam situs Badan Penanggulangan Bencana Daerah Jawa Tengah, bahwa kini tidak hanya negara Timur Tengah dan Afrika saja, tetapi juga negara-negara besar seperti India, Cina, dan Amerika Serikat juga mengalami permasalahan dalam ketersediaan air, khususnya air bersih.

Krisis air yang terjadi, disebabkan tidak hanya karena bencana alam saja, tetapi juga karena kerusakan lingkungan yang kemudian merusak proses siklus air tadi. Pada saat tanah telah mengalami kerusakan, maka daya serapnya semakin berkurang, lalu semakin banyak air yang terlimpas di permukaan dan semakin sedikit air yang

diserap tanah, kemudian terjadilah bencana banjir pada musim hujan dan bencana kekeringan pada musim kemarau. Hal ini dapat dikhususkan bahwa permasalahan utama yang terjadi adalah kerusakan sumber air itu sendiri. Allah menjelaskan sebagai berikut :

“Apakah kamu tidak memperhatikan, bahwa sesungguhnya Allah menurunkan air dari langit, maka diaturnya menjadi sumber-sumber air di bumi kemudian ditumbuhkan-Nya dengan air itu tanam-tanaman yang bermacam-macam warnanya, lalu ia menjadi kering lalu kamu melihatnya kekuning-kuningan, kemudian dijadikan-Nya hancur berderai-derai. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat pelajaran bagi orang-orang yang mempunyai akal.” (QS Az Zumar : 21)

2.2 Perbedaan Perairan Darat dengan Perairan Laut

Perairan darat berbeda dengan perairan laut. Perairan darat mencakup hampir 2% luas bumi, lebih sempit dari perairan laut. Perairan darat merupakan perairan sementara, berumur pendek jika diukur dengan skala waktu geologi dan perubahan-perubahan tektonis. Perairan darat dapat hilang dalam waktu pendek, demikian pula komunitas yang menghuninya. Perairan darat mempunyai fauna yang sangat terbatas jika dibandingkan dengan fauna di lautan.

Perairan laut merupakan perairan terbuka dan luas, mencakup 70% dari luas permukaan bumi, merupakan perairan permanen. Lautan telah ada sejak terbentuknya air pada waktu pendinginan bumi dan selalu membentuk suatu kesatuan. Walaupun terjadi perubahan-perubahan besar dalam sejarah bumi. Sebagai akibat tersebut, maka perkembangan kehidupan di laut telah berlangsung dari permulaan tanpa diganggu oleh suatu bencana. Perairan laut memiliki distribusi organisme yang luas dan sangat beragam serta distribusi zat-zat yang merata.

Oleh karena lautan sangat luas, maka airnya tetap dan saling bertukar. Laut sangat kecil dipengaruhi daratan malahan sering menentukan iklim daratan. Sebaliknya perairan darat lebih terbatas, tertutup dan sangat dipengaruhi oleh iklim setempat dari daratan dan daratan yang mengelilinginya. Perairan darat memiliki penyebaran organisme yang lebih sempit dari pada perairan laut, karena perairan darat tidak luas dan dangkal, sehingga perubahan sifat-sifat fisika kimia dan penyebaran jasadnya bergantung pada perubahan-perubahan yang lebih sempit daripada di laut dan kurang pula dipengaruhi oleh arus.

2.3 Sumber dan Manfaat Air

Air yang ada di permukaan bumi berasal dari beberapa sumber. Berdasarkan letak sumbernya air dibagi menjadi tiga, yaitu air hujan, air permukaan dan air tanah. Air hujan merupakan sumber utama dari air di bumi. Air ini pada saat pengendapan dapat dianggap sebagai air yang paling bersih, tetapi pada saat di atmosfer cenderung mengalami pencemaran oleh beberapa partikel debu, mikroorganisme dan gas (misal karbon dioksida, nitrogen dan amonia).

Air permukaan meliputi badan-badan air semacam sungai, danau, telaga, waduk, rawa dan sumur permukaan. Sebagian besar air permukaan ini berasal dari air hujan dan mengalami pencemaran baik oleh tanah, sampah dan lainnya. Air tanah berasal dari air hujan yang jatuh ke permukaan bumi, kemudian mengalami penyerapan ke dalam tanah dan penyaringan secara alami. Proses-proses ini menyebabkan air tanah menjadi lebih baik dibandingkan air permukaan (Chandra, 2007).

Air merupakan zat yang paling penting dalam kehidupan setelah udara. Sekitar tiga perempat bagian dari tubuh manusia terdiri

dari air. Air digunakan untuk mendukung hampir seluruh kegiatan manusia. Sebagai contoh, air digunakan untuk minum, memasak, mandi, mencuci dan membersihkan lingkungan rumah. Air juga dimanfaatkan untuk keperluan industri, pertanian, pemadam kebakaran, tempat rekreasi dan transportasi. Air dibutuhkan organ tubuh untuk membantu terjadinya proses metabolisme, sistem asimilasi, keseimbangan cairan tubuh, proses pencernaan, pelarutan dan pengeluaran racun dari ginjal, sehingga kerja ginjal menjadi ringan (Chandra, 2007).

Selain itu air serta bahan-bahan yang dikandung di dalamnya merupakan lingkungan bagi organisme air. Ada beberapa keuntungan air sebagai lingkungan hidup ikan dibanding dengan organisme di darat antar lain: 1) Struktur tubuh organisme di perairan sangat sederhana karena ditunjang oleh air, 2) Penggunaan energi untuk berenang di perairan lebih efisien sehingga energi sebagian besar digunakan untuk pertumbuhan, 3) Kulit organisme perairan lebih tipis sehingga cepat pertumbuhannya. Air juga memiliki sifat yang khas tidak dimiliki oleh senyawa kimia lain yang penting yaitu berupa cairan pada kisaran suhu yang sesuai bagi kehidupan organisme.

2.4 Peranan Danau dalam Siklus Hidrologi

Air yang ada di bumi ini jumlahnya senantiasa tetap dan mengalami suatu pergerakan dalam suatu siklus yang disebut siklus hidrologi atau daur air. Siklus hidrologi dimulai dengan penguapan air dari permukaan air (baik air laut maupun air tawar). Uap yang dihasilkan diangkut oleh udara yang bergerak, pada kondisi tertentu uap tersebut dipadatkan membentuk awan-awan, yang selanjutnya berubah menjadi presipitasi. Air hujan yang jatuh ke permukaan bumi sebagian mengenai tanaman, dan sebagian lagi langsung ke

permukaan bumi, air ini ada yang dikembalikan lagi ke atmosfer melalui penguapan (evaporation), dari permukaan tanah atau permukaan air, dan penguapan melalui tanaman yang kita sebut transpirasi (transpiration).

Sebagian lagi mengalir melalui permukaan dan bagian atas tanah menuju aliran sungai, sementara lainnya masuk lebih jauh ke dalam tanah menjadi bagian dari air tanah (groundwater). Di bawah pengaruh gaya gravitasi, aliran air permukaan (surface run-off) dan air tanah sama-sama bergerak menuju tempat yang lebih rendah yang pada akhirnya menuju laut. Tetapi sebagian air tersebut, sebelum sampai ke laut, dikembalikan lagi ke atmosfer oleh penguapan dan transpirasi. Sirkulasi yang kontinu antara air laut dan air daratan ini berlangsung terus-menerus.

Air permukaan dan air tanah yang dibutuhkan untuk kehidupan adalah air yang terdapat dalam proses siklus hidrologi. Jadi jika sirkulasi ini tidak merata baik ruang maupun waktu, maka akan terjadi bermacam-macam kesulitan. Jika terjadi sirkulasi yang lebih, seperti banjir, maka harus dilakukan pengendalian banjir. Jika terjadi sirkulasi yang kurang, maka kekurangan air ini harus ditambah dalam suatu usaha pemanfaatan air.

Pada dasarnya air tawar (air sungai, air danau, dan air tanah) yang dapat dimanfaatkan oleh manusia hanya sebagian kecil dari total air yang ada di bumi yaitu kurang lebih hanya 0,61 %, yang berbentuk es sebesar 2,14 %, dan yang terbesar adalah air laut 97,3 %. Volume air danau hanya 0,1% dari jumlah air yang ada di bumi. Jumlah air di bumi yang melimpah sebagian besar tidak dapat dimanfaatkan oleh manusia karena bagian terbesar berupa air asin (97%) sedangkan air tawar hanya 2,15% yang sebagian terbesar berbentuk es di kutub dan

gletser, dan hanya 0,3% air tanah dan 0,00001% di sungai, termasuk air danau yang 0,1% (US Geological Survey dalam Haryani & Hehanussa, 1999).

Indonesia merupakan negara dengan air tawar terbesar kelima di dunia, dengan potensi ketersediaan air sebanyak 3.221 miliar m³/tahun. Jumlah air yang dibutuhkan mencapai 16.000 m³/kapita/tahun (Atlas Nasional Indonesia, 2010). Ada lebih dari 840 danau alami di Indonesia, dengan volume total air mencapai 500 km³ atau 500 milyar m³, dimana Lake Toba sebagai danau terbesar dengan volumenya 240 km³ (Komite Nasional Pengelolaan Ekosistem Lahan Basah, 2004, Haryani & Hehanussa, 1999, 2009).

BAB III**JENIS DAN KARASTERISTIK PERAIRAN MENGENANG
(PERAIRAN LENTIK)**

Perairan menggenang (dikenal dengan istilah *Lentik*) dibedakan menjadi perairan alamiah dan buatan. Berdasarkan proses pembentukkannya perairan alami dibedakan menjadi perairan yang terbentuk karena aktivitas tektonik dan karena aktivitas vulkanik. Beberapa contoh perairan lentik yang alamiah antara lain: danau, rawa, situ, dan telaga, sedangkan perairan buatan antara lain adalah waduk (*reservoir*). Perairan yang mengalir (dikenal dengan istilah *Lotik*) mencakup sungai dan selokan.

3.1. Danau

Danau adalah wilayah perairan yang digenangi oleh badan air sepanjang tahun serta terbentuk secara alami. Perairan danau adalah suatu kolom air yang cukup kompleks yang terpisah dari laut dan merupakan daerah terbuka yang relatif dalam.

Jumlah danau di Indonesia mencapai 840 danau besar dan kecil. Di Pulau Sumatera terdapat 170 danau dengan jumlah luas maksimum 3.700 km², di Pulau Kalimantan 139 danau dengan luas maksimum 1.142 km², di Pulau Jawa dan Bali sebanyak 31 danau luas total 62 km², di Pulau Sulawesi ada 30 danau dengan luas 1.599 km², dan di Pulau Papua ada 127 danau dengan luas lebih dari 600 km² (Giesen, 1991). Berdasarkan informasi tersebut diketahui bahwa Sumatera memiliki paling banyak danau dan Sulawesi memiliki luas rata-rata danau yang paling besar. Sumatera memiliki danau yang

terbesar yaitu Danau Toba dengan luas badan air hampir 1.200 km², kedalaman maksimum yang diukur pada tahun 2002 adalah 505 m (529 m pada tahun 1933) dengan permukaan air danau pada 902,5 m di atas permukaan laut (Haryani & Hehanussa, 2002)

Danau merupakan perairan *lentik* yang alami, dan terdiri dari danau vulkanik yaitu danau yang terbentuk karena peristiwa letusan gunung berapi, dan danau tektonik yaitu danau yang terbentuk karena peristiwa tektonik misalnya akibat gempa bumi.

Danau yang terbentuk akibat gaya tektonik kadang-kadang badan airnya mengandung bahan-bahan dari perut bumi seperti belerang dan panas bumi. Bahan belerang bersifat racun bagi organisme, sedangkan panas bumi dalam batas tertentu menyuburkan tanaman. Danau vulkanik dan tektonik banyak terdapat di Indonesia karena Indonesia wilayahnya merupakan gugusan gunung berapi dan terdapat pada lempeng benua yang labil.

Banyak danau di Sumatera merupakan danau tektonik dan volcano tektonik dengan kolom air yang oligotrofik dengan kedalaman besar, tebing dasar danau yang curam dan dasar yang rata seperti terlihat di Danau Toba, Singkarak, dan Maninjau. Di Sulawesi juga dijumpai sejumlah danau tektonik dengan sifat badan air oligotrofik, tebing sekeliling danau dan dinding dasar danau yang curam seperti Danau Matano, Towuti, Poso, dan Lindu. Sejumlah danau di Papua juga memperlihatkan dasar danau yang curam seperti di Danau Sentani dan Paniai meski dengan kedalaman yang tidak terlalu besar. Di Pulau Kalimantan pada umumnya danau dangkal dan tidak terkait dengan gerak tektonik. Anomali yang terlihat di Jawa karena tidak ada danau besar. Pulau Bali memiliki empat danau yang unik karena tidak

ada aliran sungai yang mengalir keluar, sedang di Lombok terdapat Danau Segara Anak pada lereng Gunung Rinjani dengan kedalaman 200 m.

Danau memiliki kedalaman yang sangat dalam, berair jernih, penyuburannya relatif lambat, produktifitas primer rendah dan pada tahap awal perkembangannya keanekaragaman organismenya juga rendah. Danau vulkanik pada awal terbentuknyamemiliki suhu air yang tinggi, kaya akan bahan belerang, miskin bahan organik, sehingga hanya organisme tertentu yang memiliki kemampuan adaptasi khusus seperti kelompok algae *Cianophyta* yang menjadi organisme pioner di sana. Agak berbeda dengan danau vulkanik, danau tektonik pada awal perkembangannya suhu air relatife rendah, air jernih, memiliki kandungan bahan organik yang cukup lengkap sehingga dapat dihuni oleh berbagai jenis organisme, meskipun dengan jenis dan densitas yang masih sangat terbatas karena tingkat penyuburannya relatif lambat.

Proses pembentukan danau terjadi akibat adanya suatu proses yang disebabkan oleh faktor sebagai berikut:

1. Oleh adanya pengaruh sungai es (glasial). Suatu daerah tertutup sejak zaman purba telah kaya dengan sungai es yang akhirnya membentuk danau glister.

Proses terbentuknya danau glister:

- a. Terangkatnya dasar (lapisan) suatu perairan
- b. Dengan melalui endapan es (dari reruntuhan es) yang mencair dan membentuk kolom air yang tertutup
- c. Tertumpuknya lapisan es pada suatu tempat yang disebabkan terhalang oleh gunung sehingga membentuk gundukan es di bawah lembah glister

- d. Oleh pencairan massa es yang sangat besar yang tertumpuk di suatu lembah.
2. Terdorongnya lapisan tanah sehingga merintangi salah satu sisi lembah dan membentuk suatu kolom air.
3. Larutnya dasar batuan yang menyebabkan tenggelamnya permukaan tanah seperti terjadinya pencucian batu kapur.
4. Bergeraknya lapisan kerak bumi.
5. Akibat kawah gunung api yang sudah tidak aktif.
6. Berbagai macam aktivitas sungai seperti berubahnya saluran yang menimbulkan *oxbow*, yaitu terhalangnya mulut anak sungai yang mengalir di daerah tersebut. Klasifikasi perairan danau ditunjukkan pada Tabel 1.

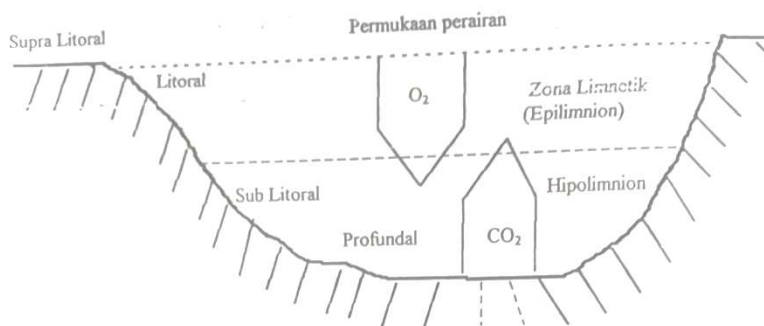
Tabel 1. Klasifikasi Perairan Danau

No	Sifat	Oligotrophic	Eutrophic	Histophic
1	Kedalaman Suhu Ratio Hypolimnion/ Epilimnion	Sangat dalam Dingin Sangat besar	Relative dangkal Yang dingin sedikit	Lebih dangkal Berubah ubah Tidak tentu
2	BO terlarut	Rendah	Tinggi	Sangat tinggi
3	Elektrolit Hara Ca, N, P Humus Transparansi cahaya	Rendah Rendah Rendah Tinggi	relative tinggi tinggi tinggi sedang	Rendah Rendah Sangat tinggi Sedang
4	Oksigen terlarut	Tinggi sepanjang tahun	Rendah s/d tidak ada di hypolimnion	Rendah s/d tdk ada pada bagian terdalam
5	Tann tingk tinggi pada daerah littoral	Jarang	Banyak	Jarang
6	Plankton: - Jumlah - Blomimg - Yang dominan	- Rendah - Jarang - Chlorophyc eae	- banyak - sering - Micophyce ae (Cyanophy ceae Dan diatom)	- Rendah - Jarang - Tidak tentu
7	Binatang propundal	Banyak	Sedikit	Sedikit/tdk ada
8	Ikan penghuni dasar	Banyak	Tidak ada	Tidak ada
9	Perubahan perairan nenuju	Eutrophic	Histophic	Rawa- rawa/paya
10	Contoh	Danau tempe	Waduk Jatiluhur Waduk saguling	Danau rawa pening

Danau dicirikan dengan arus yang sangat lambat sekitar 0,001-0,01 m/detik atau kadang tidak ada arus sama sekali. Oleh karena itu

waktu tinggal air (*residence time*) bisa berlangsung lama. Arus air di danau dapat bergerak ke berbagai arah. Perairan danau biasanya memiliki stratifikasi vertikal suhu dan kualitas air lainnya yang tergantung pada kedalaman dan musim.

Pengwilayahan (zonase) perairan tergenang dalam hal ini danau dibagi menjadi 2 yaitu zona benthos dan zona kolom air. Zona benthos yang sering disebut zona dasar terdiri dari zona supralitoral, litoral sub litoral dan propundal. Zonase kolom air atau disebut pula *open water zone* terdiri dari zonase limnetic, tropogenik, konpensasi dan tropolitik. Gambaran Zonase pada Perairan Tergenang (Danau) ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Zonase pada Perairan Tergenang (Danau)
(Cole, 1988)

Keterangan:

- Supra Litoral adalah wilayah di pinggir danau yang masih terkena pengaruh daratan, biasanya berupa daratan yang kadang kala tergenang air jika volume danau meningkat.
- Litoral adalah wilayah pinggir danau yang dangkal, batuan dasar berukuran relatif besar, cahaya matahari mencapai dasar perairan. Wilayah litoral inilah yang paling dulu mendapat

pengaruh jika terjadi erosi pada daratan sekitarnya. Terdapat tumbuhan akuatik yang mengakar di dasar. Keanekaragaman benthos cukup tinggi.

- Sub Litoral adalah wilayah di sebelah bawah litoral, batuan dasar berukuran lebih kecil, cahaya matahari sudah berkurang, keanekaragaman benthos berkurang. Wilayah ini masih mendapat cukup oksigen. Benthos seperti Mollusca yang sudah mati yang semula adalah penghuni wilayah litoral biasanya akan terbenam pada wilayah sub litoral
- Propundal adalah wilayah yang paling dalam dengan suhu rendah, cahaya matahari tinggal sedikit atau bahkan hilang sama sekali. Oksigen terlarut sangat sedikit atau membentuk suasana *anoksik* (tidak ada oksigen). Meskipun banyak terdapat gas metana dan karbon dioksida akan tetapi kadar ion hydrogen tinggi sehingga pH air rendah karena keberadaan asam karbonat. Sedimen dasar berukuran sangat kecil (halus).
- Zona limnetic (pelagic) adalah wilayah perairan yang sudah tidak banyak mendapat pengaruh dari tepian dasar perairan. Zona limnetic dibagi menjadi zona tropogenik dan tropolitik
- Zona tropogenik yaitu kolom air dari permukaan dengan aktivitas fotosintesis berlangsung intensif hingga kolom air di mana aktivitas fotosintesis sudah sangat sedikit. Pada zona ini kadar oksigen terlarut cukup tinggi. Zona tropogenik ini biasanya berada pada mintakat epilimnion.
- Zona tropolitik berada di sebelah bawah tropogenik. Pada zona ini aktivitas respirasi dan dekomposisi yang dominan, sudah tidak ada lagi aktivitas fotosintesis. Kadar oksigen terlarut sangat rendah atau tidak ada, kadar karbondioksida tinggi.

Zona tropolitik kadangkala sama dengan lapisan/zona/mintakat hipolimnion.

- Zona konpensasi adalah zona antara tropogenik dan tropolitik dicirikan oleh aktivitas fotosintesis sama dengan respirasi.

Perkembangan ekosistem danau sangat dipengaruhi oleh faktor alamiah atau karena aktifitas manusia di daerah pendukung danau ataupun di danau itu sendiri. Perkembangan alamiah terjadi karena proses penyuburan yang berlangsung sesuai dengan fungsi waktu. Pada kondisi seperti penyuburan danau akan berlangsung lambat. Perkembangan danau akibat pengaruh aktifitas manusia akan sangat vari

atif sesuai dengan pengaruh langsung maupun tidak langsung aktifitas manusia terhadap ekosistem danau. Karakteristik danau alami disajikan pada Tabel 2

Tabel 2. Karakteristik Hidrodinamik Ekosistem Danau Alami

No	Karakteristik Danau Alami
1	Fluktuasi level airnya kecil dan stabil
2	Aliran masuk (<i>inflow</i>) <i>run off</i> memasuki danau melalui anak-anak sungai aliran rendah dan sumber-sumber difusi
3	Aliran keluar relative stabil, pada perairan yang dengan permukaan luas biasanya melalui aliran permukaan dan mata air dangkal
4	Laju aliran (<i>flushing</i> rate) lama, relatif konstan (1 hingga beberapa tahun) model 3 dimensi

Pengaruh tidak langsung dapat berasal dari aktifitas penebangan hutan ataupun perubahan tataguna lahan pada ekosistem disekitar danau. Pengaruh langsung dapat berasal dari aktifitas manusia di dalam danau, seperti penangkapan ikan, budidaya

ikan dalam karamba, atau pemanfaatan danau sebagai objek wisata. Sebagai contoh misalnya Danau Toba yang saat ini banyak berdiri hotel, dan penginapan dan perumahan penduduk di sekitarnya serta tingginya aktifitas wisatawan. Kondisi ini akan mempercepat proses perkembangan danau menjadi sebuah ekosistem kompleks yang dapat merusak keseimbangan ekosistem.

Sumber penyuburan danau dalam perkembangannya dapat berasal dari dalam ekosistem danau itu sendiri (eksitu), yaitu berasal dari organisme yang mati, atau penyuburan juga dapat berasal dari luar ekosistem danau (insitu). Masuknya nutrisi berupa bahan organik maupun anorganik dari luar ke dalam ekosistem danau dapat terjadi secara alamiah, namun sebagian besar adalah karena aktifitas manusia baik secara langsung maupun tidak langsung.

Suatu danau dikatakan tercemar apabila ada pengaruh atau kontaminasi zat organik maupun anorganik ke dalam air. Hubungan ini terkadang tidak seimbang karena kebutuhan setiap organisme berbeda-beda, ada yang diuntungkan sehingga dapat berkembang dengan cepat sementara organisme lain terdesak. Perkembangan organisme perairan secara berlebihan merupakan gangguan dan dapat dikategorikan sebagai pencemaran, yang dapat merugikan organisme akuatik lainnya maupun manusia secara tidak langsung. Jumlah danau di Indonesia berdasarkan lokasi dan ukurannya ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Jumlah Danau di Indonesia Berdasarkan Lokasi dan Ukuran

Pulau	Jumlah Danau berdasarkan ukuran			Total Area	Area Maks
Sumatera	88	69	13	190.043	370.043
Kalimantan	61	61	17	84.321	114.231
Jawa dan Bali	19	10	2	6.270	6.270
Nusa Tenggara	7	4	3	6.041	6.041
Sulawesi	11	10	9	141.871	159.871
Maluku	5	3	2	3.438	3.438
Irian Jaya	39	76	12	59.830	Tdk diket
Total	230	233	58	491.724	719.742

Pencemaran yang berupa penyuburan organisme tertentu disebut eutrofikasi yang banyak dijumpai khususnya di perairan darat.

Danau dibagi ke dalam wilayah perairan terbuka (*pelagial zone*; zone pelagis) dan wilayah tepian (*littoral zone*:zona litoral). Wilayah tepian terdiri dari dasar cekungan danau yang dikoloni oleh tumbuhan tingkat tinggi. Sedimen yang bebas dari tumbuhan tingkat tinggi, dan terletak di bawah zone pelagis dikenal sebagai zone profundal (*profundal zone*). Zona littoriprofundal (*littoriprofundal zone*) merupakan wilayah transisi dari sedimen yang ditempati oleh alga bentik

Suatu danau dapat dibagi menjadi 3 berdasarkan status Trofik Danau yaitu: 1) Danau Oligotrof adalah status trofik air danau dan/atau waduk yang mengandung unsur hara dengan kadar rendah, status ini menunjukkan kualitas air masih bersifat alamiah belum tercemar dari

sumber unsur hara Nitrogen dan Fosfor. 2) Danau Mesotrof adalah status trofik air danau dan/atau waduk yang mengandung unsur hara dengan kadar sedang, status ini menunjukkan adanya peningkatan kadar Nitrogen dan Fosfor namun masih dalam batas toleransi karena belum menunjukkan adanya indikasi pencemaran air. 3) Danau Eutrofik adalah status trofik air danau dan/atau waduk yang mengandung unsur hara dengan kadar tinggi, status ini menunjukkan air telah tercemar oleh peningkatan kadar Nitrogen dan Fosfor.

Eutrofikasi biasanya dipandang sebagai kondisi perairan yang tidak diinginkan karena pengaruhnya dapat secara nyata mengganggu manfaat badan air bagimanasia, oleh karenanya eutrofikasi juga dipandang sebagai pencemaran lingkungan. Pada dasarnya tidak ada perbedaan antara eutrofikasi di daerah tropis dan sub-tropis. Kalau ada perbedaan, lebih pada besarnya atau waktunya dan bukan substansinya (Thompson, 1987).

Perairan danau yang mengalami eutrofikasi adalah danau tersebut memiliki produktivitas dan biomass tinggi, dan sering terjadi ledakan populasi alga. Di dasar perairan sering kekurangan oksigen, Jenis tumbuhan dan binatang terbatas dan pertumbuhan tumbuhan litoral semakin cepat. Mekanisme eutrofikasi mengikuti konsep nutrisi pembatas terutama Nitrogen dan Fosfat. Peningkatan jumlah fosfat di danau akan meningkatkan produktivitas. Bila pada danau eutrofik N terbatas maka *Cyanophyceae* mampu mengikat N dari udara dan mampu menyimpan sejumlah besar Fosfat di dalam selnya

Eutrofikasi dapat dikatakan sebagai pengkayaan nutrisi anorganik dalam air dari suatu badan air utamanya nitrogen dan fosfat. Eutrofikasi biasanya dipandang sebagai kondisi perairan yang tidak diinginkan karena pengaruhnya dapat secara nyata mengganggu

manfaat badan air bagi manusia, oleh karenanya eutrofikasi juga dipandang sebagai pencemaran lingkungan. Faktor utama penentu eutrofikasi yang berkaitan dengan perairan danau adalah: morfologi danau, sumber nutrisi, intensitas cahaya, pertumbuhan, dan perikanan karamba.

Salah satu contoh danau yang ada di Sulawesi Selatan adalah danau Tempe. Danau Tempe merupakan muara dari 13 sungai dari berbagai wilayah di Sulawesi Selatan dan sekitarnya, sehingga debit air danau Tempe tergantung dari banyaknya asupan air sungai yang masuk ke dalam danau (bertipe rawa banjir). Elevasi permukaan air danau Tempe bervariasi antara 3 m pada musim kemarau sampai 10 m pada saat banjir, dengan kedalaman maksimum 5,5 m dan dapat mencapai lebih dari 30.000 ha saat banjir dan pada saat musim kemarau luas genangannya hanya mencapai 1.000 ha dengan kedalaman maksimum 1 m. Perbedaan tinggi permukaan air saat musim hujan dan musim kemarau ± 4 m. Pada musim kemarau daerah yang tidak digenangi air merupakan hamparan lahan yang subur (Media, et al., 2019).

Sungai yang menuju ke Danau Tempe terdiri dari 23 sungai, yang termasuk dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) Bila dan DAS Walanae (Hermawan et al, 2015). Danau Tempe berfungsi sebagai penyedia air bersih dan air baku, pertanian, pariwisata, pencegah bencana alam/banjir, habitat tumbuhan dan satwa, pengatur fungsi hidrologi, penghasil sumberdaya alam hayati, sumber perikanan (baik budidaya maupun perikanan tangkap), sumber pendapatan, dan sebagai sarana penelitian dan pendidikan. Danau Tempe memiliki karakteristik yang dinamis berdasarkan volume air yang mengikuti pola musim. Pada musim kemarau, volume air danau 9.087 ha, sedangkan

pada musim penghujan akan mencakup seluas 25.858 ha (Surur, 2015).

3.2. Rawa

Lahan rawa terdapat pada hampir seluruh ekosistem kecuali pada ekosistem padang pasir. Istilah "lahan rawa" lebih umum digunakan dalam bahasa Indonesia sebagai pengganti istilah "lahan basah", walaupun sebenarnya tidak semua lahan basah dapat dikategorikan sebagai lahan rawa. Sedangkan di Amerika dan Eropa, istilah "lahan basah" menunjukkan kondisi yang sebaliknya yang mana istilah tersebut lebih umum digunakan sebagai pengganti eufemistik untuk istilah "rawa" (Swamp). Menurut Clarkson and Peters (2010) swamps berarti sebuah lahan yang secara tipikal berupa campuran dari gambut dan mineral yang selalu tergenang dan biasanya relatif subur karena mendapat sedimentasi dari limpasan lingkungan sekitarnya.

Menurut konvensi Ramsar lahan rawa adalah "daerah payau, rawa, gambut atau air, yang terjadi secara alami atau buatan, bersifat permanen atau sementara, dengan air yang statis atau mengalir, segar, payau atau asin, termasuk area air laut yang tidak lebih dari enam meter". Sedangkan menurut Peraturan Pemerintah (PP) No. 27 Tahun 1991 tentang rawa, dinyatakan bahwa rawa adalah lahan genangan air secara alamiah yang terjadi terus menerus atau musiman akibat drainase alamiah yang terhambat serta mempunyai ciri khusus secara fisik, kimia dan biologis, sedangkan menurut PP yang terbaru tentang rawa no. 73 tahun 2013 ditetapkan pengertian lahan rawa adalah wadah air beserta air dan daya air yang terkandung di dalamnya, tergenang secara terus menerus atau musiman, terbentuk secara alami di lahan yang relatif datar

atau cekung dengan endapan mineral atau gambut, dan ditumbuhi vegetasi, yang merupakan suatu ekosistem.

Berdasarkan uraian di atas maka dapat disyarkan bahwa lahan rawa adalah daerah dimana muka air di tanah berada dekat atau di atas permukaan, tanah yang jenuh air untuk jangka waktu tertentu sehingga kelebihan air dan mengakibatkan kadar oksigen tanah jadi terbatas, hal ini merupakan penentu utama jenis vegetasi dan proses perkembangan tanah. Dalam konteks pembahasan tentang karakteristik lahan rawa, maka permasalahan yang dibahas dalam bab ini lebih difokuskan pada karakteristik tanah gambut dan tanah sulfat masam. Istilah "swamp" atau rawa digunakan untuk menyatakan wilayah atau area yang secara permanen selalu jenuh air, permukaan air tanahnya dangkal, atau tergenang air dangkal hampir sepanjang tahun, air yang cenderung tidak bergerak atau tidak mengalir (stagnant).

Lahan rawa adalah sebuah bentuk bentang alam yang terbentuk secara alami ataupun karena dibuat oleh manusia yang memiliki peranan penting bagi ekosistem secara global, ekosistem ini dapat ditemui pada dataran rendah maupun dataran tinggi yang membentuk cekungan, bahan induk tanahnya dapat berupa material mineral maupun bahan organik. Air menjadi determinasi utama ekosistem rawa, keberadaan air menjadi faktor kunci dalam pemanfaatannya, pengelolaannya, serta karakteristiknya. Kondisi hidrologi lahan sangat menentukan sifat tanah di lahan rawa, meningkatnya ketersediaan hara ataupun kelarutan unsur meracun yang menurun kelarutannya dapat terjadi pada saat lahan rawa tergenang. Kondisi ini berimplikasi pada pemanfaatan dan pengelolaan lahan rawa harus pula mempertimbangkan

ketersediaan air atau sifat air tersebut. Air dapat menjadi input yang positif bagi pemanfaatan dan pengelolaan lahan jika kualitasnya dan kuantitasnya sesuai dengan keperluan, sebaliknya dapat menjadi input negatif ketika kualitas rendah dan kuantitasnya yang tidak sesuai keperluan.

Air sebagai faktor kunci bagi lahan rawa, secara hidrologis di lahan dapat dipandang dari sudut intensitas, durasi, aliran dan frekuensinya. Berdasarkan sumbernya maka air dapat berasal dari air hujan, air tanah, aliran permukaan dan air pasang. Dalam kondisi alami, rawa ditumbuhi oleh vegetasi dari jenis semak sampai pohon berkayu. Lahan rawa merupakan sebuah bentuk ekosistem yang sangat kompleks, bagian dari bentang alam pada hamparan bumi yang memiliki peran dalam siklus biogeokimia global dan penting bagi ekosistem global.

Lahan rawa memiliki biodiversitas yang sangat tinggi, sehingga perlindungan lahan rawa menjadi salah satu kegiatan yang mendesak untuk dilakukan di seluruh dunia. Dalam kondisi alami, lahan rawa menjadi habitat bagi ikan, ditumbuhi berbagai tumbuhan air, baik sejenis rerumputan, semak maupun berkayu/hutan. Menurut Ponnamperna (1972) lahan rawa memiliki karakteristik yang unik, yang dapat dikenali dengan adanya/kondisi : (a) Terbatasnya molekul oksigen, (b) Penurunan senyawa penerima elektron dan terakumulasinya senyawa-senyawa tereduksi, (c) Teroksidasinya lapisan atas tanah yang tergenang, (d) Terjadinya pertukaran senyawa terlarut antara tanah dan air, (e) Terjadinya akumulasi bahan organik, dan (f) Adanya tumbuhan air

Rawa adalah suatu lahan basah atau genangan air yang tidak dalam dan berdasar lumpur. Bila rawa ini berhubungan dengan

sungai, maka alirannya tidak begitu deras. Pada umumnya rawa-rawa ini, banyak ditumbuhi oleh semak-semak dan tanaman tingkat rendah. Rawa merupakan genangan air/lahan basah yang sumber airnya sangat dipengaruhi oleh keadaan musim dan lingkungan di sekitarnya. Permukaan air diantara musim hujan dan kemarau berbeda sangat mencolok. Perbedaan tinggi air itu, sangat mempengaruhi kondisi fisika-kimia dan biologi perairan rawa-rawa tersebut.

Faktor fisika air yang penting di rawa-rawa antara lain seperti suhu, kekeruhan, warna dan penetrasi cahaya sangat berfluktuasi. Suhu di perairan rawa, terutama pada musim kemarau relatif tinggi terutama di daerah litoral. Daerah litoral sepanjang musim kemarau selalu mengalami kekeringan. Setelah musim hijau suhu perairan relatif rendah.

Tingkat kekeruhan air rawa relatif tinggi bahkan airnya berwarna ke hitam-hitaman terutama pada musim kemarau. Tingginya tingkat kekeruhan ini karena tingginya proses penguraian bahan organik ini akan mempertinggi kadar asam arang di dalam perairan rawa. Penetrasi cahaya tingkat penetrasi cahaya pada perairan rawa relatif rendah. Rendahnya tingkat penetrasi cahaya ini karena tingginya dekomposisi bahan organik. Selain tingginya bahan tersuspensi, juga disebab Lahan rawa merupakan ekosistem yang berada pada daerah transisi di antara daratan dan perairan (sungai, danau, atau laut), yaitu antara daratan dan laut, atau di daratan sendiri, antara wilayah lahan kering (uplands) dan sungai/danau.

Lahan rawa dapat terbentuk secara alamiah atau buatan, pembentukannya dapat berjalan relatif cepat atau sangat lambat yang memakan waktu ribuan bahkan jutaan tahun. Lahan rawa dapat terbentuk melalui berbagai macam proses, setiap bentang lahan

rawa memiliki proses pembentukan yang khas sesuai dengan kondisi lingkungan sekitarnya. Menurut National Park Service, US Department of Interior bahwa lahan rawa yang berada di daerah dataran banjir sekitar pantai (Flooding of coastal lowlands) seperti lahan rawa pasang surut terbentuk akibat peningkatan muka air laut yang membawa sedimen dan atau aliran sungai yang bermuara ke laut membawa sedimen yang kemudian mengendap pada daerah sekitar pantai.

Sedangkan lahan rawa dataran banjir sungai seperti lahan rawa lebak berkembang melalui proses erosi dan pengendapan sedimen di lahan sekitar sungai. Pembentukan lahan rawa, lebih tepatnya disebut dalam istilah pembentukan tanah rawa atau genesis tanah rawa, merujuk pada perubahan sifat-sifat tanah rawa seiring waktu yang berjalan, seperti peningkatan atau penurunan kandungan suatu bahan atau mineral dalam horizon tanah, secara kualitas atau kuantitas atau hilangnya suatu lapisan sedimen. Proses genesis tanah yang terjadi seperti proses kimia, biologi dan fisik, dimana semua proses tersebut terjadi secara simultan.

Selama proses genesis maka semua sifat tanah seperti kimia, biologi dan fisik mengalami perubahan. Berdasarkan rejim hidrologinya, lahan rawa dapat dibedakan atas dua tipologi lahan, yaitu rawa lebak dan rawa pasang surut. Lahan rawa lebak berdasarkan lama genangan dan tinggi genangannya dari permukaan tanah dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu lebak dangkal, sedang dan tengahan. Sedangkan lahan rawa pasang surut berdasarkan luapan pasang dan intensitas drainasenya dapat dibagi menjadi empat tipologi yaitu tipologi A,

B, C dan D (Noorsyamsi dan Hidayat, 1976; Widjaja Adhi et al., 1992).bukan banyaknya tanaman tingkat rendah lainnya.

3.3. Waduk

Waduk adalah daerah yang digenangi badan air sepanjang tahun serta dibentuk atau dibangun atas rekayasa manusia, sehingga waduk tergolong perairan buatan. Waduk dibangun dengan cara membendung aliran sungai sehingga air sungai tertahan sementara dan menggenangi daerah aliran sungai (DAS). Waduk dapat dibangun di dataran tinggi maupun dataran rendah. Waduk yang dibangun di dataran tinggi atau pada bagian hulu sungai cenderung berbentuk menjari, relatif sempit dan bertebing curam serta dalam. Sebaliknya waduk yang dibangun di dataran rendah atau hilir sungai cenderung berbentuk bulat, relatif luas dan dengan badan air relatif dangkal. Waduk menempati ruang yang lebih kecil bila dibandingkan dengan lautan maupun daratan, namun demikian ekosistem perairan darat ini memiliki peranan yang sangat penting. Karakteristik hidrodinamik ekosistem waduk disajikan pada Tabel 4.

Waduk dibangun untuk memenuhi beberapa kebutuhan diantaranya: 1) untuk tujuan irigasi, 2) penyedia energy listrik melalui pembangkit listrik tenaga air (PLTU), 3) merupakan sumber air rumah tangga dan industri yang murah, 4) pengendali banjir, 5) untuk tujuan rekreasi, 6) untuk tujuan kegiatan budidaya perairan dan 7) sebagai media transportasi. Perairan darat merupakan tempat pembuangan yang mudah dan murah.

Tabel 4. Karakteristik Hidrodinamik Ekosistem Waduk

No	Karakteristik Hidrodinamik Ekosistem Waduk
1	Fluktuasi level airnya besar, tidak beraturan
2	Aliran air masuk; terdapat <i>run off</i> memasuki waduk melalui anak-anak sungai dengan aliran tinggi, penetrasi melalui strata berstratifikasi bersifat kompleks(<i>over inter</i> dan <i>under flow</i>) Sering berlangsung melewati lembah sungai tua
3	Aliran air keluar; sangat tidak beraturan sesuai penggunaan air melalui lapisan-lapisan permukaan atau hipolimnion
4	Laju aliran (<i>flushing rate</i>); singkat, bervariasi (beberapa hari hingga minggu). Meningkat sesuai aliran keluar permukaan, gangguan stratifikasi sesuai aliran keluar pada zone hypolimnion model 3 dimensi

Waduk mempunyai karakteristik yang berbeda dengan badan air lainnya. Waduk menerima masukan air secara terus menerus dari sungai yang mengalirinya. Air sungai ini mengandung bahan organik dan anorganik yang dapat menyuburkan perairan waduk. Pada awal terjadinya inundasi (pengisian air), terjadi dekomposisi bahan organik berlebihan yang berasal dari perlakuan sebelum terjadi inundasi. Dengan demikian, jelas sekali bahwa semua perairan waduk akan mengalami eutrofikasi setelah 1–2 tahun inundasi karena sebagai hasil dekomposisi bahan organik. Eutrofikasi akan menyebabkan meningkatnya produksi ikan sebagai kelanjutan dari tropik level organik dalam suatu ekosistem

Di dalam perairan terdapat jasad-jasad hidup, dan salah satunya adalah plankton yang merupakan organisme mikro yang melayang dalam air laut atau tawar. Pergerakannya secara pasif

tergantung pada angin dan arus. Plankton terutama terdiri dari tumbuhan mikroskopis yang disebut fitoplankton dan hewan mikroskopis yang disebut zooplankton. Suatu perairan dikatakan subur apabila mengandung banyak unsur hara atau nutrisi yang dapat mendukung kehidupan organisme dalam air terutama fitoplankton dan dapat mempercepat pertumbuhannya.

Fitoplankton menduduki tropik level pertama dalam rantai makanan, sehingga keberadaannya akan mendukung organisme tropik level selanjutnya. Sebagai produsen primer, fitoplankton dapat melakukan proses fotosintesis untuk mengubah bahan anorganik menjadi bahan organik dengan bantuan sinar matahari. Hasil fotosintesis dari produsen akan digunakan bagi dirinya sendiri dan oleh organisme lain. Fitoplankton merupakan organisme pertama yang terganggu karena adanya beban masukan yang diterima oleh perairan. Ini disebabkan karena fitoplankton adalah organisme pertama yang memanfaatkan langsung beban masukan tersebut.

Oleh karena itu perubahan yang terjadi dalam perairan sebagai akibat dari adanya beban masukan yang ada akan menyebabkan perubahan pada komposisi, kelimpahan dan distribusi dari komunitas fitoplankton. Maka dari itu keberadaan fitoplankton dapat dijadikan sebagai indikator kondisi kualitas perairan, selain itu fitoplankton dapat digunakan sebagai indikator perairan karena sifat hidupnya yang relatif menetap, jangka hidup yang relatif panjang dan mempunyai toleransi spesifik pada lingkungan.

Salah satu contoh waduk di Indonesia adalah Waduk Sermo. Waduk Sermo merupakan satu-satunya waduk di Provinsi Daerah Istimewah Yogyakarta (DIY). Waduk Sermo mempunyai luas sekitar 157 hektar, dengan kapasitas genangan air sebanyak 25 juta m³.

Fungsi Waduk Sermo yang dipandang penting dan bermanfaat adalah untuk suplai air irigasi, air bersih / minum, pembangkit listrik mikrohidro dan perikanan. Pengembangan perikanan di perairan Waduk Sermo sangat penting, karena dapat meningkatkan manfaat dan produktivitas waduk, serta memperluas lapangan kerja bagi masyarakat di sekitar waduk. Peningkatan produksi ikan akan menambah penyediaan protein hewani yang berfungsi untuk pemenuhan gizi masyarakat. Tingkat konsumsi ikan di Daerah Istimewa Yogyakarta dipandang masih rendah, baru mencapai sebesar 6,64 kg/kapita/tahun, jauh lebih rendah dibandingkan secara nasional sebesar 16,7 kg/kapita/tahun. Ikan konsumsi di Yogyakarta sebagian besar dipasok dari luar daerah (Dinas Perikanan, 1995). Upaya pengembangan perikanan di Waduk Sermo harus didukung dengan studi/penelitian mengenai keadaan dan potensi perairan. Informasi ini sangat penting dalam menentukan kebijaksanaan pengelolaan waduk untuk perikanan.

Pada tahap awal setelah pengisian air waduk akan terjadi perubahan dari ekosistem perairan mengalir (sungai) menjadi ekosistem perairan tergenang (waduk). Pada awal penggenangan akan terjadi perubahan kualitas dan kesuburan air. Produksi hayati di daerah tersebut akan melimpah karena adanya perkembangan biologis akibat dari pelepasan unsur-unsur hara tanah dan bahan organik yang terendam air. Ekosistem waduk pada awal penggenangan mempunyai produksi hayati yang sangat berfluktuasi. Keadaan ini akan berlangsung relatif lama. Perairan waduk mencapai keadaan stabil dalam waktu 2-3 tahun setelah penggenangan. Perubahan dan perkembangan ekosistem yang terjadi perlu dipelajari sebagai dasar untuk menentukan pola pengembangan perikanan di perairan waduk.

Studi telah dilakukan Bambang Triyatmo (2001) terhadap keadaan limnologi perairan Waduk Sermo yang meliputi keadaan kualitas dan kesuburan air, serta kualitas biologi (plankton dan tanaman air). Keadaan tersebut mencerminkan kesesuaian lingkungan hidup dari organisme air tertentu. Tingkat kualitas dan kesuburan air, serta kualitas biologi dapat diketahui dan digunakan sebagai dasar dalam pengembangan perikanan yang produktif.

Tujuan penelitian tersebut dilakukan adalah untuk mengetahui kondisi kualitas air dan tingkat kesuburan waduk Sermo. Metode yang dilakukan Studi perairan Waduk Sermo mengenai kualitas dan kesuburan air, serta kesesuaiannya untuk perikanan. Pengamatan kualitas dan kesuburan air waduk dilakukan terhadap sampel pada lokasi 6 stasiun, yaitu : S1 : Stasiun 1, daerah aliran masuk sisi utara; S2 : Stasiun 2, daerah aliran masuk sisi selatan; S3: Stasiun 3, daerah tengah waduk; S4: Stasiun 4, daerah tepi waduk sisi utara; S5 : Stasiun 5, daerah tepi waduk sisi selatan; S6 : Stasiun 6, daerah aliran keluar/dekat dam.

Pengambilan dan pengamatan sampel air pada lokasi masing-masing stasiun dilakukan pada permukaan (p) dan dasar (d) perairan. Pada stasiun S3 dan S6 juga diambil dan diamati sampel air pada bagian tengah (t) perairan. Pengambilan dan pengamatan sampel air dilakukan selama 6 periode (setiap ± 25 hari) yang tersebar pada musim kemarau dan musim hujan (bulan September 1996 sampai dengan Januari 1997).

Parameter kualitas dan kesuburan air yang diamati meliputi kecerahan, kekeruhan (turbiditas), suhu, derajat keasaman (pH), oksigen (O_2) terlarut, karbon dioksida (CO_2) bebas, alkalinitas, kesadahan, daya hantar listrik (DHL), padatan terlarut total

(total dissolved solid/TDS), amonia (NH_3), amonium (NH_4), nitrat (NO_3^-), nitrogen (N) total, fosfat (PO_4^{3-}), sulfat (SO_4^{2-}) dan bahan organik total. Parameter kualitas biologi meliputi jenis dan jumlah plankton dan tanaman air. Produktivitas primer perairan waduk juga diamati.

Metode yang digunakan dalam pengamatan kecerahan dengan "*secchi disk*" dan kekeruhan dengan turbidimeter, suhu dengan termometer, pH dengan pH meter, DHL dengan *conductivitymeter*, TDS dengan penguapan menggunakan 'oven' pemanas. Pengamatan oksigen (O_2) terlarut, karbon dioksida (CO_2), alkalinitas, kesadahan dan bahan organik dengan cara titrasi. Pengamatan amonia (NH_3), amonium (NH_4), nitrat (NO_3^-), fosfat (PO_4^{3-}) dan sulfat (SO_4^{2-}) dengan spektrofotometer. Plankton diamati dengan mikroskop dan tanaman air diamati langsung di lapangan. Pendugaan produktivitas primer menggunakan metode botol gelap-terang yang dianalisa dengan modifikasi metode Winkler (cara titrasi) (EPA, 1983; APHA, 1985). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa: 1) Kualitas air waduk Sermo sesuai untuk pengembangan perikanan, khususnya pada beberapa parameter yaitu : kecerahan, kekeruhan, suhu, pH, oksigen terlarut, karbondioksida bebas, alkalinitas, kesadahan, DHL dan TDS. 2. Tingkat kesuburan perairan Waduk Sermo termasuk rendah - baik, sesuai untuk mendukung kehidupan pakan alami (plankton), khususnya dari beberapa parameter yaitu : amonium, nitrat, fosfat dan sulfat.

JENIS DAN KARASTERISTIK PERAIRAN MENGALIR (PERAIRAN LOTIK)

Perairan sungai dan selokan termasuk dalam ruang lingkup Limnologi. Badan air ini berbeda satu dengan yang lain. Terdapat perbedaan yang mendasar antara perairan yang menggenang yang tergenang dengan perairan sungai yang mengalir.

4.1 Sungai

Sungai adalah tempat dan wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi oleh garis sempadan (Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 1991). Sungai mengalir dari hulu dalam kondisi kemiringan lahan yang curam berturut-turut menjadi agak curam, agak landai, dan relatif rata. Arus relatif cepat di daerah hulu dan bergerak menjadi lebih lambat dan makin lambat pada daerah hilir. Sungai merupakan tempat berkumpulnya air di lingkungan sekitarnya yang mengalir menuju tempat yang lebih rendah. Daerah sekitar sungai yang mensuplai air ke sungai dikenal dengan daerah tangkapan air atau daerah penyangga. Kondisi suplai air dari daerah penyangga dipengaruhi aktivitas dan perilaku penghuninya (Wardhana, 2001). Sungai sebagai sumber air merupakan salah satu sumberdaya alam yang mempunyai fungsi serba guna bagi kehidupan dan penghidupan manusia.

Menurut Masduqi, dkk (2009) ada dua fungsi utama sungai secara alami yaitu mengalirkan air dan mengangkat sedimen hasil erosi pada Daerah Aliran Sungai dan alurnya (Self Purification). Kedua fungsi ini terjadi bersamaan dan saling mempengaruhi. Sungai termasuk perairan yang mengalir. Pergerakan air seperti arus searah hanya dijumpai pada habitat mengalir seperti sungai. Aliran air ini tergantung pada topografi lingkungan perairan tersebut. Sesuai hal tersebut, aliran air ini ada yang lambat dan ada yang cepat. Sistem aliran air ini, pada tanah datar atau dataran rendah bergerak lambat dan bentuk permukaan air relatif cepat dan terjadi perputaran air (turbulensi) kecuali sungai besar dan lebar.

Indonesia memiliki sekitar 7560 sungai utama dengan panjang total mencapai 94.573 km dan sekitar 65.017 anak sungai (PU, 2013). Paparan banjir adalah lahan datar di sekitar sungai yang digenangi air saat banjir, yaitu saat daya tampung alur sungai terlampaui sehingga air meluap. Paparan banjir berupa danaudanau dangkal musiman, hutan rawa air tawar, atau rawa semak. Pada musim banjir, paparan banjir dapat berbentuk sistem danau yang besar atau berupa danau-danau kecil yang saling terhubung. Sebaliknya pada musim kemarau, aliran membalik dan paparan banjir berfungsi untuk mengisi badan air sungai. Indonesia juga memiliki sekitar 859 danau dan 735 situ (danau kecil) serta sekitar 257 waduk (PU, 2013).

Karakteristik hidrodinamik Ekosistem Sungai disajikan pada Tabel 5. Faktor fisika yang penting pada sungai adalah kecepatan arus (pergerakan air) tidak seragam pada seluruh kolom air sebab adanya gesekan pada dasar perairan dan bagian samping perairan tersebut. Tingkat maksimum kecepatan air biasanya pada daerah dengan kedalaman 1–3 m. Faktor-faktor yang menentukan arah dan

kecepatan pergerakan air yaitu: (a) bentuk dasar sungai, (b) lebar dan kedalaman sungai, (c) keadaan dasar sungai (kasar/halus), dan (d) kemiringan dasar sungai. Kecepatan maksimum arus air terjadi di bagian pinggir saluran (sungai).

Tabel 5. Karakteristik Hidrodinamik Ekosistem sungai

No	Karakteristik Hidrodinamik Ekosistem Waduk
1	Fluktuasi level air; cepat besar, tidak beraturan, banjir
2	Aliran air masuk; run off diatas tanah dan air tanah, sangat tidak beraturan dan musiman, aliran mata air kwcil-besar
3	Aliran air keluar; sangat tidak beraturan sesuai frekuensi aliran masuk dan kejadian hujan
4	Laju aliran (flushing rate); cepat, gabungan dari berbagai arah horizontal

Keadaan (kecepatan dan arah) arus air di sungai sangat mempengaruhi bentuk kehidupan biota perairan air di sungai tersebut. Selain pengaruhnya terhadap bentuk kehidupan organisme air, arus juga tidak dapat dipisahkan dengan erosi, pengendapan dan pengangkutan unsur hara dan bahan terlarut lainnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat erosi adalah volume air, kecepatan pergerakan air (arus) dan keadaan saluran. Proses terjadinya erosi biasanya tergerusnya lapisan tanah ikut bersama aliran air. Di samping itu keadaan tanah di sekitar aliran sungai seperti tanah gundul akibat pengolahan pertanian yang lebih menyebabkan terjadinya pencucian tanah. Sehubungan dengan proses tersebut sungai merupakan pemasok dan pengangkut lumpur, bahan tersuspensi dan unsur hara ke laut atau ke danau.

Faktor-faktor kimia yang penting di perairan rawa adalah O_2 , H_2S , bahan organik dan asam humus. Kondisi masing-masing faktor kimia tersebut relatif berbeda dengan perairan lainnya. Kadar oksigen relatif rendah terutama pada musim kemarau karena selain tingginya suhu, juga akibat tingginya proses dekomposisi yang membutuhkan oksigen, tetapi pada umumnya kadar oksigen pada perairan rawa sepanjang tahun relatif rendah jika dibanding dengan tingginya perairan lainnya.

Oleh karena tingginya proses dekomposisi bahan organik menyebabkan tingginya H_2S dan kadar asam humus. Tingginya kadar asam humus dari gas-gas tercemar menyebabkan perairan rawa tidak produktif untuk ikan. Sesuai dengan kondisi fisika dan kimia perairan rawa tersebut diatas, pada musim kemarau airnya surut dan ikan-ikan bermigrasi ke sungai/perairan lainnya. Setelah air naik kembali pada musim hujan, mikroba/ lumut-lumut bermigrasi kembali untuk menghuni rawa-rawa tersebut. Selain itu bahan organik tinggi yang merupakan unsur hara mineral, maka daerah tersebut sangat subur ditumbuhi oleh tanaman tingkat rendah.

Pada umumnya air mengalir seperti sungai, keadaan suhunya sangat berbeda dengan perairan tenang seperti danau. Keadaan suhu di perairan seperti sungai adalah sebagai berikut : a) Keadaan suhu seragam pada seluruh lapisan air, tetapi pada dasarnya tetap terjadi perbedaan hanya perbedaan relatif sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Dengan demikian di sungai tidak dijumpai adanya stratifikasi suhu. b) Cenderung mengikuti suhu udara dan lebih terbuka daripada danau.

Demikian pula halnya pada perairan yang relatif kecil sangat dipengaruhi oleh suhu udara daripada sungai yang besar. c)

Kekeruhan yang terjadi pada sistem air mengalir perbedaannya sangat besar. Akibatnya perbedaan antara satu dengan lainnya tergantung pada keadaan sekitar aliran sungai dan bagian hulu sungai tersebut. Daerah aliran sungai di pegunungan yang berbatuan, kekeruhan sangat kurang, sedangkan sungai yang mengalir pada daerah dataran rendah kekeruhannya sangat tinggi.

Umumnya pengaruh arus (pergerakan air) adalah memproduksi bahan tersuspensi atau bahan terlarut yang menyebabkan kekeruhan frekuensi kekeruhan relatif lebih besar di daerah air mengalir daripada daerah perairan tenang. Kekeruhan ini tergantung dari bahan yang terlarut di dalamnya. Kekeruhan sebagian besar disebabkan oleh lumpur, detritus dan material lainnya. Kekeruhan ini berpengaruh terhadap jumlah jasad nabati, sehingga produktivitasnya sangat rendah. Keadaan lembah di sekitar sungai tersebut menyebabkan kekeruhan yang intensitasnya relatif tinggi. Terjadinya kekeruhan oleh partikel lumpur terutama disebabkan oleh pengelolaan daerah aliran sungai yang jelek.

Lumpur berpengaruh terhadap faktor fisika dan kimia di sungai antara lain adalah sebagai berikut: a) Membatasi penetrasi cahaya, b) Mengubah panas matahari, c) Menyebabkan terjadinya pendangkalan sehingga mengganggu aliran dasar, d) Mengganggu kondisi dasar perairan. Selain itu partikel lumpur dapat merupakan racun bagi organisme tertentu.

Sedangkan sifat kimia yang penting pada perairan sungai antara lain: Gas terlarut, sehubungan dengan kondisi perairan sungai yang airnya bergerak, suplai oksigen terlarut (O_2) relatif tinggi pada seluruh lapisan air. Biasanya mencapai tingkat kejenuhan tanpa adanya pengaruh suhu. Hanya daerah yang relatif dalam dan

pergerakan lambat dan tercemar oleh bahan polusi, suplai oksigen menurun. Di antara faktor yang mempengaruhi kelarutan oksigen di sungai adalah (a) suhu, (b) kemiringan saluran (dasar sungai), (c) oksigen yang dilepaskan oleh tanaman air, (d) sejumlah oksigen yang digunakan untuk proses perombakan bahan relatif di dasar perairan. Gas-gas dari hasil proses perombakan bahan relatif kecil karena pengaruh sirkulasi air atau pengaruh arus. Hanya pada daerah yang aliran airnya relatif lambat, gas-gas tersebut cukup berarti terhadap kehidupan organisme.

Besarnya kelarutan bahan padatan sangat besar dan tergantung pada keadaan daerah aliran sungai. Dari kenyataan menunjukkan bahwa air mengalir seperti sungai banyak mengandung garam dan kurang mengandung unsur nitrogen terlarut jika dibandingkan dengan perairan tenang seperti danau. Selain banyak mengandung garam, air sungai banyak mengandung pula bahan terlarut lainnya. Sumber bahan terlarut ini berasal dari tanah dan areal sekitarnya.

Di dalam suatu sistem Daerah Aliran Sungai, sungai yang berfungsi sebagai wadah pengaliran air selalu berada di posisi paling rendah dalam landskap bumi, sehingga kondisi sungai tidak dapat dipisahkan dari kondisi Daerah Aliran Sungai (PP 38 Tahun 2011). Kualitas air sungai dipengaruhi oleh kualitas pasokan air yang berasal dari daerah tangkapan sedangkan kualitas pasokan air dari daerah tangkapan berkaitan dengan aktivitas manusia yang ada di dalamnya (Wiwoho, 2005). Perubahan kondisi kualitas air pada aliran sungai merupakan dampak dari buangan dari penggunaan lahan yang ada (Tafangenyasha dan Dzinomwa, 2005) Perubahan pola pemanfaatan lahan menjadi lahan pertanian,

tegalan dan permukiman serta meningkatnya aktivitas industri akan memberikan dampak terhadap kondisi hidrologis dalam suatu Daerah Aliran Sungai. Selain itu, berbagai aktivitas manusia dalam memenuhi kebutuhan hidupnya yang berasal dari kegiatan industri, rumah tangga, dan pertanian akan menghasilkan limbah yang memberi sumbangan pada penurunan kualitas air sungai (Suriawiria, 2003).

Penelitian telah dilakukan oleh Dyah Agustiningsih (2016) di Sungai Blukar, Kabupaten Kendal. Panjang sungai Blukar sebagai lokasi penelitian adalah sepanjang $\pm 18,70$ km dimulai dari Bendung Sojomerto yang berlokasi di Kecamatan Gemuh sampai dengan Desa Tanjungmojo Kecamatan Kangkung. Analisis laboratorium dilakukan di Laboratorium Lingkungan Badan Lingkungan Hidup Kota Semarang. Pengambilan sampel air sungai dilakukan pada tanggal 16 Juli 2012. Parameter yang diukur dan diamati meliputi parameter fisika, kimia dan mikrobiologi. Penelitian kualitas air dilakukan dengan membagi sungai menjadi 6 segmen dimulai dari bendung Sojomerto Kecamatan gemuh dengan 7 titik lokasi pengambilan sampel. Pembagian segmentasi sungai berdasarkan pada pola penggunaan lahan yang ada dengan tetap memperhatikan kemudahan akses, biaya dan waktu sehingga ditentukan titik yang mewakili kualitas air sungai

Berdasarkan hasil penelitian pengujian sampel air sungai menunjukkan bila dibandingkan dengan baku mutu air sungai Kelas I parameter yang melebihi baku mutu adalah BOD, COD dan Total Coliform, sedangkan bila dibandingkan dengan baku mutu air sungai Kelas II parameter yang melebihi baku mutu adalah BOD

dan COD. Konsentrasi BOD yang tinggi terjadi di titik 3,4,5,6 dan 7. konsentrasi COD tinggi terjadi di titik 7. Pada titik 3 konsentrasi BOD, COD dan Total Coliform lebih tinggi jika dibandingkan dengan titik 2 dan titik 4. Hal ini berkaitan dengan aktivitas masyarakat di segmen 2 (ruas antara titik 2 dan titik 3) yang menggunakan air sungai Blukar sebagai tempat mandi, cuci dan buang air besar. Kondisi ini terjadi di Desa Sojomerto Kecamatan Gemuh, Desa Kedunggading Kecamatan Ringinarum dan Desa Galih Kecamatan Gemuh. Aktivitas masyarakat tersebut menyebabkan peningkatan bahan organik ke dalam air sungai. Eksistensi bakteri total Coliform dalam air sungai berkaitan dengan pembuangan limbah domestik.

Hal ini sejalan dengan penelitian Atmojo (2004) yang menyatakan bahwa eksistensi bakteri total coliform tertinggi ditemukan di perairan Banjir Kanal Timur, Semarang yang berasal dari aktivitas domestik. George Tchobanoglous (1979) menyatakan bahwa limbah domestik mempunyai karakteristik antara lain kekeruhan, TSS, BOD, DO, COD, dan parameter Coliform. Selain itu, (Chapra, 1997) menyatakan bahwa kelompok bakteri coliform merupakan salah satu indikator adanya kontaminan limbah domestik dalam perairan. Konsentrasi BOD, dan COD tertinggi ditemukan di titik 7. Titik 7 merupakan lokasi pengambilan sampel di Desa Tanjungmojo Kecamatan Kangkung setelah industri pengolahan ikan. Hal ini kemungkinan disebabkan aktivitas industri yang membuang air limbahnya ke sungai Blukar sehingga menyumbang konsentrasi bahan organik dalam air sungai.

Oleh karena itu berdasarkan hasil penelitian Dyah Agustiningsih (2016) diperoleh bahwa (1) parameter BOD di titik 3,4,5,6 dan 7 serta parameter COD di titik 7 telah melebihi baku mutu air sungai Kelas II

menurut PP nomor 82 Tahun 2001. (2) Telah terjadi penurunan kualitas air Blukar dari hulu ke hilir yang ditandai dengan nilai indeks pencemaran yang cenderung semakin meningkat berdasarkan kriteria sungai Kelas II menurut PP nomor 82 Tahun 2001. Nilai indeks pencemaran berkisar antara 0,49 sampai 3,28. Status mutu air sungai Blukar telah tercemar dengan status cemar ringan. (2) untuk menjaga kualitas air pada kondisi alamiahnya diperlukan strategi pengendalian pencemaran air sungai yang difokuskan pada (a) peningkatan peran masyarakat baik masyarakat umum, petani maupun industri dalam upaya pengendalian pencemaran air. (b) peningkatan koordinasi antar instansi yang berkaitan dengan pengendalian pencemaran air, serta (c) mengintegrasikan kebijakan pengendalian pencemaran air dalam penataan ruang.

4.2. Selokan

Selokan adalah saluran yang menyalurkan air pembuangan dan atau air hujan untuk dibawa ke suatu tempat agar tidak menjadi masalah bagi lingkungan dan kesehatan. Selokan umumnya terdapat di pinggir jalan, didesain untuk mengalirkan kelebihan air hujan dan air permukaan dari jalan raya, tempat parkir, sisi jalan, dan atap.

Besarnya selokan dihitung atas dasar curah hujan tertinggi, aliran air buangan ataupun air tanah (khususnya di daerah pegunungan), ataupun dari waduk untuk mengalirkan air keperluan irigasi. kalau kekecilan dapat mengakibatkan air dari selokan meluap keluar dari selokan bahkan dapat mengakibatkan banjir. Agar air dalam selokan dapat berjalan dengan lancar perlu dilakukan perawatan selokan secara reguler untuk membuang aliran air dari sampah.

Penelitian kondisi karakteristik sifat fisik dan kualitas air selokan yang terdapat di Mataram. telah dilakukan oleh Pipin Kusumawati et al., (2019). Dipilihnya lokasi ini karena Selokan Mataram adalah prasasti sejarah kebijakan Raja Mataram yang telah menyelamatkan ribuan penduduk Yogyakarta dari kewajiban menjadi Romusha pada masa penjajahan Jepang. Prasasti tersebut masih berdiri hingga saat ini dan dimanfaatkan secara luas untuk pengairan pertanian. Meskipun memiliki sejarah yang panjang dan menarik serta didukung dengan potensi alam yang cukup indah, tempat ini kurang dimaksimalkan untuk tujuan wisata.

Penelitian ini mengambil 4 stasiun penelitian dengan adanya berbagai pertimbangan. Stasiun penelitian pertama (lokasi A) adalah titik bendungan Karang Talun di Dusun Ancol Bligo Ngluwar Magelang. Aliran airnya harus melewati bawah sungai Krasak sehingga tidak dapat dilalui perahu dan lokasi A harus berakhir di situ. Stasiun penelitian kedua (Lokasi B) dimulai dari Perempatan Jalan Nyangkringan hingga Dusun Susukan Margokaton Seyegan Sleman. Stasiun penelitian ketiga (Lokasi C) dimulai dari Dusun Nambungan Tlogoadi Mlati Sleman hingga Kecamatan Sinduadi Mlati Sleman, sedangkan lokasi D digunakan sebagai kontrol berada di Sungai Progo yang melintas di bawah Jalan Sudirman Borobudur Magelang Jawa Tengah yang menjadi cikal bakal aliran Selokan Mataram sekaligus lokasi wisata tirta arung jeram (rafting) sungai Progo. Pertimbangan adanya tiga lokasi penelitian untuk wisata tirta adalah dikarenakan adanya beberapa titik yang tidak memungkinkan dibukanya suatu wisata tirta, misalkan keterbatasan aksesibilitas ke daerah tersebut, kerusakan badan selokan mataram ataupun adanya talang sempit yang harus dilalui oleh badan air Selokan Mataram yang

tidak dimungkinkannya dilewati suatu perahu/tube. Lokasi spot wisata juga dipilih jauh dari pemukiman padat penduduk/aktivitas manusia sehingga harapannya sampah/limbah yang dibuang ke badan air juga minimal.

Penelitian dilakukan dengan mengambil empat titik sampel air, yaitu di inlet Selokan Mataram di Desa Bligo sebagai stasiun A, Tirtoadi Sleman sebagai stasiun B Mlati Sleman sebagai stasiun C dan Candi Sungai Progo dekat Candi Mendut sebagai stasiun D. Sampel pada stasiun D dijadikan sebagai referensi kualitas air dari suatu daya tarik wisata tirta yang sudah beroperasi jauh sebelum rencana Selokan Mataram sebagai daya tarik wisata tirta. Stasiun D merupakan hulu dari aliran sungai Progo yang nantinya akan masuk ke dalam aliran Selokan Mataram. Hal tersebut berdasar pada pertimbangan penelitian yang pernah dilakukan oleh Jannah (2014), hasil penilaian kualitas air di Selokan Mataram pada parameter BOD, COD, NO_2 dan nilai NO_3 tercatat lebih tinggi pada lokasi pengambilan di Pogung Dalangan dan Santren, menunjukkan di lokasi yang padat penduduk tersebut mendapat lebih banyak air limbah masuk ke dalam badan air Selokan Mataram.

Berdasarkan hasil uji kimiawi sampel air menunjukkan bahwa air Selokan Mataram dan Sungai Progo berada pada batas aman, pH, kadar DO, BOD, COD, total fosfat dan nitrat berada pada level normal dan keberadaan logam-logam berat tidak menunjukkan jumlah yang signifikan sehingga cukup aman digunakan sebagai wahana wisata tirta kategori kontak menengah. Pengukuran yang menunjukkan melebihi batasan adalah kadar klor bebas. Hasan (2006) menjelaskan bahwa klorin banyak dimanfaatkan manusia sebagai desinfektan dalam bidang kesehatan, pemutih, pestisida (DDT), dan industri

lainnya. Pembuangan limbah klorin dalam badan air dapat meracuni ekosistem. Dalam bentuk gas klorin juga merusak ozon dan berkontribusi dalam pembentukan hujan asam.

Berdasarkan hasil uji mikrobiologis menunjukkan bahwa seluruh sampel air di setiap lokasi sampling menunjukkan jumlah coliform, baik fecal coliform maupun total coliform yang melebihi ambang batas yakni sejumlah 2000/mL untuk fecal coliform dan 10.000/mL untuk total coliform menunjukkan air sungai Selokan Mataram banyak tercemar dengan saluran septic tank masyarakat. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Aria et al. (2013) pengaruh limbah seperti feses, sisa makanan maupun kebiasaan penduduk setempat membuang sampah ke sungai merupakan faktor utama penyebab pencemaran lingkungan air. Salah satu alasan pencemaran sungai adalah pertumbuhan penduduk di kota Yogyakarta tidak diiringi dengan pertumbuhan dan penyediaan lahan pemukiman warga yang mendesak warga untuk tinggal di sempadan sungai (Yogafanny, 2015).

Hasil penelitian kualitas air sungai Mataram menunjukkan bahwa air Selokan Mataram mengalami pencemaran, baik fisik dan mikrobiologi yang berasal dari limbah manusia. Keadaan kualitas air yang rendah ini kemungkinan dipicu oleh keadaan musim penghujan ketika penelitian ini berlangsung sehingga menimbulkan bias terhadap hasil uji kualitas airnya. Rendahnya kualitas air yang didapatkan pada penelitian ini kemungkinan dipicu oleh keadaan musim penghujan ketika penelitian ini berlangsung. Mengacu pada penelitian Laapo et al. (2009), air laut di kawasan wisata Gugus Pulau Togean Sulawesi Tengah juga mengalami peningkatan nilai kekeruhan, penurunan salinitas dan suhu pada bulan November terkait dengan musim penghujan dan gelombang yang tinggi (Pipin Kusumawati et al., 2019).

ASPEK FISIKA PERAIRAN DARAT

5.1 Berat Jenis (*Density*)

Berat jenis air danau dan sungai pada tempat dan waktu yang berlainan tidak akan sama. Walaupun perbedaan ini hanya kecil, tetapi amat penting pengaruhnya terhadap kejadian-kejadian dalam air. Umumnya perbedaan berat jenis air di danau disebabkan oleh beberapa faktor yaitu: a) kadar garam, b) suhu, c) tekanan.

Perbedaan suhu dan kadar garam merupakan faktor yang lebih penting di perairan umum seperti danau. Namun pada umumnya perairan tawar mengandung lebih sedikit garam, tetapi diduga pengaruhnya terhadap berat jenis air tawar cukup besar. Kadar garam pada setiap perairan tawar, umumnya rata antara 0,01 – 1,0 g/ml. Variasi berat jenis yang disebabkan oleh kadar garam dalam air tawar kira-kira antara 0,00008 – 0,08. Besarnya variasi berat jenis ini sangat besar pengaruhnya terhadap kejadian-kejadian di dalam air sehingga tidak dapat diabaikan begitu saja.

Perubahan berat jenis air yang disebabkan oleh perubahan suhu adalah amat penting. Air mempunyai sifat bahwa berat jenisnya tidak bertambah terus dengan menurunnya suhu, tetapi mencapai harga 4°C. Sifat air tersebut merupakan sifat “anomali” air dan sifat air ini sangat penting untuk kehidupan organisme air, terutama danau di daerah kutub dan suhu tropik. Terlepas dari sifat anomali air, perbedaan-perbedaan berat jenis yang kecil akibat perubahan suhu adalah amat penting bagi kehidupan dalam air. Proses–proses utama

yang mengatur keadaan ekologi air dan proses kimia air danau adalah merupakan fungsi dari perbedaan berat jenis air. Pengaruh berat jenis air terhadap kehidupan organisme dalam air tawar, terutama mengenai daya apung organisme dapat menghemat energi untuk menekan berat organisme itu sendiri.

Pada tekanan yang lebih tinggi, suhu dari berat jenis maksimum berkurang. Berat jenis air pada tekanan yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 6

Tabel 6. Berat Jenis Air pada tekanan yang berbeda.

Tekanan Atmosfir	Berat jenis
1	1,0000
10	1,0005
20	1,0010
30	1,0015

5.2 Kekentalan Air (Viskositas)

Kekentalan merupakan sifat fisik air yang tidak boleh diabaikan karena merupakan akibat dari tahanan gesekan yang ditimbulkan oleh suatu zat cair pada benda yang bergerak. Kekentalan air pada suhu 0°C dua kali lebih besar dari pada suhu 25°C. Jadi pada suhu 25°C pada keadaan yang lain sama maka jasad-jasad plankton akan tenggelam dua kali lebih cepat dari pada suhu 0°C. Hubungan antara suhu air dengan kekentalan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hubungan antara suhu dengan Kekentalan air

Suhu °C	Kekentalan
0	100
5	84,9
10	73,0
15	63,7
20	56,1
25	49,8
30	44,6

Karena kekentalan air seratus kali lipat lebih besar dari udara maka organisme air harus mengalami tahanan yang lebih besar daripada yang diperlukan oleh organisme yang hidup di udara. Besarnya tahanan air, sebanding dengan: a) Luas permukaan benda yang berhubungan dengan air; b) Kecepatan benda; c) Konstanta yang bergantung pada suhu dan sifat air itu sendiri.

Oleh karena itu kadar garam yang terdapat di perairan tawar seperti danau relatif kecil, sehingga pengaruh suhu relatif besar terhadap kekentalan air tawar. Kekentalan air mempengaruhi organisme air dalam hal: kebiasaan hidup organisme, morfologi organisme, dan penggunaan energi oleh hewan air.

5.3 Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan timbul akibat aktifitas molekul-molekul air yang tidak simetri pada permukaan dan dibawah permukaan air. Tegangan permukaan tinggi adalah tekanan antar molekul yang tinggi sehingga air memiliki sifat yang baik dalam membasahi suatu bahan.

Tegangan permukaan yang tinggi dapat memungkinkan terjadinya sistem kapiler air yaitu kemampuan air bergerak pada pipa kapiler (pipa yang memiliki lobang yang sangat kecil). Dengan adanya sistem kapiler dan sifat air sebagai pelarut yang baik maka air dapat membawa nutrient dalam tanah bergerak ke jaringan tubuh.

Tegangan permukaan juga mempengaruhi organ-organ tumbuhan dan hewan ada yang dapat dibasahi dan ada yang tidak dapat dibasahi. Seperti daun potamogeton dan kerangka Cladocera tidak dapat dibasahi oleh air. Daun Potamogeton muda dan kerangka plankton Cladocera tidak dapat dibasahi, kontak antara Cladocera dan permukaan air sering membinasakannya, karena air akan tertarik dari kerangka plankton cladocera dan tegangan permukaan atas akan mencegah masuknya hewan tersebut ke dalam air.

Arti tegangan permukaan dari segi ekologis, yaitu pada kenyataannya bahwa permukaan yang tidak dapat di basahi oleh air jarang sekali merupakan tempat pertumbuhan bagi jasad-jasad lain, hal ini disebabkan oleh dua faktor, yaitu : a) Dapat membatasi pergerakan organisme yang bersangkutan, b) Dapat menghambat metabolisme organisme yaitu zat hara tidak dapat masuk bersama air kedalam jaringan tumbuhan.

5.4 Radiasi Matahari

a. Cahaya Matahari

Cahaya matahari yang dapat mencapai permukaan bumi dan permukaan perairan terdiri atas cahaya langsung (*direct*) berasal dari matahari dan cahaya yang disebarkan (*diffuse*) oleh awan (yang sebenarnya juga berasal dari cahaya matahari) (Cole, 1988). Jumlah radiasi matahari yang mencapai permukaan perairan sangat

dipengaruhi dipengaruhi oleh awan, ketinggian dari permukaan laut (*altitude*), letak geografis, dan musim. Penetrasi cahaya di dalam air sangat dipengaruhi oleh intensitas dan sudut datang cahaya, kondisi permukaan air, dan bahan-bahan yang terlarut di dalam air (Boyd, 1988; Welch, 1952). Cahaya matahari yang mencapai permukaan perairan tersebut sebagian diserap dan sebagian direfleksikan kembali. Beberapa jenis molekul, misalnya O₂, O₃, H₂O, dan CO₂ dapat menyerap radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energy panas (Moss, 1993). Pada perairan alami, sekitar 53% cahaya yang masuk mengalami transformasi menjadi panas dan sudah mulai menghilang (*extinction*) pada kedalaman satu meter dari permukaan air (Wetzel, 1975).

Sebagian cahaya matahari dipantulkan kembali oleh permukaan air, dengan intensitas yang bervariasi menurut sudut datang cahaya dan musim. Sudut datang cahaya matahari ke permukaan air bervariasi secara harian. Pada saat sudut datang tepat 90° (terjadi pada sekitar pukul 12.00), intensitas cahaya yang dipantulkan sekitar 1,5%-2,0%. Semakin kecil sudut datang cahaya, semakin banyak cahaya yang dipantulkan.

Di wilayah ughari yang memiliki empat musim, intensitas optimum cahaya matahari yang datang ke permukaan air terjadi pada musim panas (*summer*) dan intensitas minimum terjadi pada musim dingin (*winter*). Dengan demikian, cahaya matahari yang dipantulkan kembali sangat bervariasi. Di wilayah tropis, intensitas cahaya matahari yang mencapai permukaan air pada musim kemarau lebih besar dibandingkan dengan pada musim penghujan. Dengan demikian, intensitas cahaya matahari yang dipantulkan oleh permukaan air juga bervariasi menurut musim, namun tidak sebesar

wilayah yang memiliki empat musim. Radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi sekitar 1350 joule/detik/m² (watt) dengan kecepatan sekitar 186.000 mil/detik (299.790 km/detik).

Sinar matahari tidak hanya menentukan kuantitas dan kualitas cahaya yang merupakan sumber energi, tetapi juga menentukan suhu perairan pada kedalaman tertentu. Sinar yang mengenai permukaan air sebagian dipantulkan dan sebagian menembus kedalam air. Sinar yang dipantulkan tergantung pada : 1) Sudut datang (sudut inklinasi), 2) Lamanya penyinaran, 3) Oleh naungan, 4) Sifat-sifat air sendiri.

Yang lebih penting jika ditinjau dari segi limnologi adalah cahaya yang menembus ke dalam air sebagian dibaurkan, sebagian dipantulkan oleh partikel-partikel dalam air dan sebagian lagi diserap dan dirubah jadi panas. Perubahan intensitas cahaya yang masuk ke dalam air yang disebabkan oleh faktor tersebut di atas dapat dinyatakan berdasarkan hukum Lambert :

$$I_z : I_o e^{-nz}$$

Dimana:

- I_z : Intensitas cahaya pada kedalam z
- I_o : Intensitas cahaya pada permukaan air
- E : Bilangan dasar logaritma (sebesar 2,7)
- N : Suatu konstanta untuk panjang gelombang tertentu yaitu besarnya cahaya yang ditahan pada kedalam z dan dinyatakan dalam persen;

b. Penyebaran panas (*conductivity*).

Intensitas cahaya yang masuk ke dalam air pada suatu danau, sebagian dibaurkan dan sebagian diserap. Cahaya yang dibaurkan adalah untuk aktivitas fotosintesis tumbuh-tumbuhan. Sedang cahaya yang diserap diubah menjadi panas dan sifat-sifat panas air ini penting dalam mempertahankan lingkungan air sebagai lingkungan hidup.

Banyaknya panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu satu satuan berat suatu zat 1°C , disebut dengan panas jenis. Panas jenis ini merupakan kapasitas dari energi panas dan besarnya tetap. Dengan panas jenis air ini, kapasitas penyerapan panas relatif besar pula. Panas jenis air yang besar ini sangat baik bagi suatu lingkungan. Selain itu iklim dalam air lebih merata, variasi suhu terjadi sangat perlahan-lahan sehingga perubahan suhu siang dan malam dari musim ke musim relatif kecil.

Energi yang menyebabkan panas di suatu danau terutama diperoleh dari angin. Angin yang menghembus air di permukaan menghasilkan arus. Massa air yang bergerak setelah mencapai pantai dibelokkan ke bawah (pada lapisan di bawah) yang lebih dingin. Proses ini menimbulkan pusaran yang menyebabkan pencampuran air sebagian atau seluruhnya. Pertukaran air menjadi semakin besar dan air semakin banyak bercampur ke lapisan yang lebih dalam. Pencampuran air yang semakin dalam mengakibatkan semakin kecilnya perbedaan berat jenis air danau. Jadi pemindahan panas paling efektif ketika perbedaan suhu antara permukaan dan dasar tidak besar.

Berdasarkan intensitas cahaya yang masuk ke perairan, stratifikasi vertikal kolom air pada perairan danau dikelompokkan menjadi: 1) Lapisan (zona) eupotik yaitu lapisan yang masih mendapat

cukup matahari. 2) Lapisan Kompensasi yaitu lapisan dengan intensitas cahaya tinggal 1% dari intensitas cahaya permukaan. 3) Lapisan Propundal yaitu lapisan di sebelah bawah lapisan kompensasi dengan intensitas cahaya sangat kecil atau cahaya sudah tidak ada lagi (*afotik*).

5.5 Kecerahan

Kecerahan adalah bagian cahaya yang diteruskan dan dinyatakan dalam persen dari beberapa panjang gelombang cahaya. Kecerahan gelombang pendek adalah tinggi dan relatif konstan seperti warna ungu, biru dan hijau. Sedang gelombang panjang seperti warna kuning, jingga dan merah, kecerahan relatif cepat berkurang. Kecerahan dan kekeruhan (turbiditas) air menggambarkan tingkat kejernihan air untuk dapat menerima cahaya dari sinar matahari.

Kecerahan perairan berkaitan dengan kekeruhan perairan. Kecerahan yang rendah disebabkan karena kekeruhan yang tinggi. Tingkat kecerahan suatu perairan tergantung pada partikel-partikel koloid dan bahan-bahan tersuspensi yang terkandung pada partikel-partikel koloid dan bahan-bahan tersuspensi yang terkandung di perairan. Kecerahan air yang baik untuk kehidupan perairan berkisar antara 3-7 m. Kecerahan perairan berkaitan dengan kekeruhan perairan. Kecerahan yang rendah disebabkan oleh kekeruhan yang tinggi. Tingkat kecerahan suatu perairan tergantung pada partikel-partikel koloid dan padatan tersuspensi yang terkandung dalam perairan. Padatan tersebut berupa lumpur, bahan organik, plankton, dan zat-zat garam, di mana tingkat kecerahan suatu perairan tersebut menunjukkan tingkat kedalaman perairan. Tingkat

kecerahan menyatakan tingkat cahaya yang diteruskan ke dalam kolom air dinyatakan dalam persentase %, dari beberapa panjang gelombang yang ada yang jatuh agak lurus pada permukaan air. Pengukuran tingkat kecerahan air menggunakan *Sechi disc*

Sebagaimana telah diuraikan sebelumnya bahwa besarnya cahaya matahari langsung yang jatuh pada suatu tempat tergantung pada musim, letak geografis, waktu, sudut jatuh, tinggi tempat dari permukaan laut dan keadaan atmosfer. Cahaya yang jatuh pada permukaan air sebagian akan dipantulkan dan sebagian lagi masuk kedalam air. Cahaya yang masuk inilah yang akan menentukan kecerahan suatu perairan. Cahaya yang masuk dalam air akan mengalami pembiasan sehingga kecepatannya cepat menurun kemudian menghilang pada kedalaman tertentu.

Kecerahan air sangat dipengaruhi oleh kondisi air seperti adanya kekeruhan, kekentalan, warna dan gelombang permukaan air. Semakin tinggi tingkat kekeruhan air semakin dangkal cahaya yang dapat menembus air (penetrasi cahaya). Demikian pula semakin kental dan bergelombang semakin pendek daya tembus cahaya dalam air. Oleh karena itu terjadi hubungan terbalik antara kecerahan dengan kekeruhan, kekentalan dan gelombang permukaan air.

Kecerahan yang baik untuk kehidupan ikan adalah kecerahan dengan jumlah cahaya matahari yang masuk optimal sehingga proses fotosintesa dapat berjalan seimbang dan jumlah fitoplankton yang memadai untuk makanan ikan. Kisaran kecerahan perairan untuk kehidupan ikan adalah 25 – 40 cm untuk air tawar. Alat untuk mengukur kecerahan disebut dengan sechi disk (Gambar 2).



Gambar 2. Alat mengukur Kecerahan

Bambang Triyatmo, (2001) telah melakukan pengamatan tingkat kecerahan dan kekeruhan waduk Sermo Jogyakarta. Hasil pengamatan kecerahan dan kekeruhan air waduk Sermo sekitar 25-130 cm (rata-rata 67 cm) dan kekeruhan (turbiditas) < 25 - 131 JTU. Kecerahan dan kekeruhan air dapat disebabkan oleh suspensi tanah (lempung) atau plankton. Kekeruhan di perairan umumnya jarang melebihi 20.000 mg/l bahkan pada perairan berlumpur biasanya kurang dari 2.000 mg/l. Perubahan perilaku berbagai macam jenis ikan baru terjadi pada kekeruhan lebih besar dari 20.000 mg/l (Irwin, 1945 cit. Boyd, 1979). Kecerahan dan kekeruhan air waduk Sermo termasuk jernih sesuai untuk kehidupan pakan alami (fitoplankton) dan ikan. Pengamatan kualitas air tersebut dilakukan pada bulan yang sebagian besar termasuk musim hujan. Air tersebut diperkirakan akan lebih jernih pada musim kemarau.

5.6 Kekeruhan

Kekeruhan air dapat terjadi karena plankton, suspensi partikel tanah atau humus. Kekeruhan karena suspensi koloid tanah/lumpur, terlebih lagi bila ditambah dengan adanya hidroksida besi, maka akan sangat berbahaya bagi ikan karena partikel tersebut dapat menempel pada insang sehingga insang dapat rusak dan mengakibatkan terganggunya pernapasan ikan.

Kekeruhan yang diakibatkan oleh partikel zat padat dalam jumlah besar juga dapat menghalangi penetrasi cahaya matahari ke dalam air, sehingga akan mempengaruhi proses fotosintesis serta pertumbuhan tanaman air dan fitoplankton yang hidup di dalamnya. Akibatnya tanaman air dan fitoplankton sebagai persediaan pakan alami ikan dan penyedia oksigen terlarut yang dibutuhkan ikan untuk proses respirasi (pernapasan) dalam air berkurang.

Kekeruhan yang diharapkan adalah kekeruhan oleh kepadatan plankton, karena plankton dapat dimanfaatkan ikan sebagai makanan alami, bahkan plankton kelompok nabati (*phytoplankton*) dapat membantu menyerap senyawa yang berbahaya bagi ikan antara lain menyerap ammonia secara langsung dan menyerap nitrit secara tidak langsung.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Julzarika dan Dewi (2017), mengatakan bahwa berdasarkan pengolahan citra Landsat 2017 diperoleh nilai kekeruhan danau Tempe sebesar 83 mg/L dan kecerahan sebesar 10 cm dengan luas permukaan danau sebesar 8115,12 Ha. Warna merah mengindikasikan kekeruhan tinggi dan warna biru mengindikasikan kekeruhan rendah. Semakin tinggi kekeruhan maka semakin sedikit cahaya yang menembus air dan

semakin banyak konsentrat yang mengumpul, dan sebaliknya. Warna biru pada informasi kecerahan mengindikasikan nilai kecerahan tinggi, warna merah mengindikasikan nilai kecerahan rendah. Semakin rendah nilai kecerahan maka semakin sedikit cahaya yang menembus air. Semakin tinggi nilai kecerahan maka semakin banyak cahaya yang masuk ke dalam air.

5.7 Warna Air

Telah diuraikan terdahulu bahwa warna air dan kekeruhan mempengaruhi corak dan sifat optis dari suatu perairan seperti danau. Kedua faktor tersebut menentukan transmisi cahaya di perairan dan akhirnya mempengaruhi proses biologis yang terjadi di dalamnya. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi warna suatu danau yaitu:

- a. Berkas cahaya yang masuk kedalam air tetapi tidak diserap dan keluar dari perairan seperti warna biru, hijau, hijau-biru atau hijau-kuning.
- b. Bahan yang melayang layang baik hidup maupun mati.
- c. Warna disekeliling perairan, warna langit dan warna dasar perairan.

Di alam tidak pernah terjadi penyerapan seluruh cahaya karena terjadi pelenturan cahaya terutama cahaya yang panjang gelombangnya relatif pendek. Pelenturan cahaya ini disebabkan oleh:

- a. Pergerakan molekul air yang tidak teratur.
- b. Variasi berat jenis air.

Warna air di perairan dipengaruhi oleh faktor kecerahan/kekeruhan, bahan-bahan yang melayang baik hidup maupun mati, kualitas cahaya yang masuk ke perairan, warna langit dan warna dasar perairan. Warna air yang terlihat sering tidak membahayakan kehidupan ikan, kecuali oleh bahan pencemar beracun seperti asam,

humus atau bahan kimia beracun. Komponen-komponen sistem perairan yang mempengaruhi warna suatu perairan adalah sebagai berikut:

- a. Warna hijau (hijau tua) sering dipengaruhi oleh alga biru.
- b. Warna kekuning-kuningan atau coklat oleh diatomeae.
- c. Warna merah oleh zooplankton.
- d. Warna hijau atau coklat kuning disebabkan oleh humus.
- e. Warna coklat tua oleh bahan-bahan organik.

Bahan anorganik juga sering memberikan warna-warna tertentu seperti kalsium karbonat memberikan warna kehijau-hijauan, belerang dapat memberikan warna hijau dan besi oksida memberikan warna merah.

Warna air merupakan salah satu unsur dari parameter fisika terhadap standar persyaratan kualitas air (Darmayanto, 2009). Warna air merupakan hasil refleksi kembali dari berbagai panjang gelombang cahaya sejumlah material yang berada dalam air yang tertangkap oleh mata. Material dalam air dapat berupa jumlah zat tersuspensi (TDS) (Pemuji dan Anthonius, 2010).

Warna perairan pada umumnya disebabkan oleh partikel koloid bermuatan negatif, sehingga penghilangan warna di perairan dilakukan dengan penambahan koagulan yang bermuatan positif. Misalnya aluminium dan besi (Sawyer dan Mclarty, 1978). Warna perairan juga dapat disebabkan oleh peledakan (Blooming) Fitoplankton (algae) (Effendi, 2003).

BAB VI**SIKLUS SUHU TAHUNAN****6.1 Pengaruh Suhu**

Intensitas dan kualitas cahaya yang masuk ke dalam air dan yang diserap menghasilkan panas. Suhu tidak terpengaruh oleh sinar matahari. Panas yang dimiliki oleh air sebagian besar dari sinar matahari dan sebagian kecil dari panas yang ditransferkan dari udara dan dari wadah perairan. Energi panas ini dan hubungannya dengan hal-hal yang terjadi di dalam air, merupakan faktor yang sangat penting dalam mempertahankan air sebagai suatu lingkungan hidup bagi hewan dan tumbuhan.

Suhu merupakan faktor fisika yang penting. Kenaikan suhu mempercepat reaksi-reaksi kimiawi; menurut Hukum van't Hoff kenaikan suhu 10°C akan melipat ganda kecepatan reaksi, walaupun hukum ini tidak selalu berlaku. Misalnya saja proses metabolisme akan meningkat sampai puncaknya dengan kenaikan suhu tetapi kemudian menurun lagi. Setiap perubahan suhu cenderung untuk mempengaruhi banyaknya proses kimiawi yang terjadi secara bersamaan pada jaringan tanaman dan binatang, karenanya juga mempengaruhi biota secara keseluruhan. Pada proses penetasan telur suhu sangat berpengaruh terhadap lama waktu inkubasi telur, contohnya pada ikan bandeng makin tinggi suhu air penetasan, makin cepat waktu inkubasi. Pada suhu 29°C waktu inkubasi 27 – 32 jam dan pada suhu $31,5^{\circ}\text{C}$ waktu inkubasi 20,5 – 22 jam.

Suhu adalah suatu sifat fisika perairan yang secara langsung dipengaruhi oleh adanya radiasi dan perambatan ke dalam perairan. Suhu air mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap proses kimiawi dan biologis dalam suatu perairan. Suhu air yang optimal di daerah tropis biasanya berkisar 25°C - 35°C . Suhu air yang ideal adalah perbedaan antara siang dan malam tidak lebih dari 5°C , yaitu antara 25° sampai 30°C .

Suhu air juga mempengaruhi pertukaran zat-zat atau metabolisme dari makhluk hidup dan semakin tinggi suhu, maka semakin sedikit Oksigen yang terlarut didalamnya. Karena suhu air mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap proses kimiawi dalam perairan. Suhu juga menyebabkan stratifikasi atau tingkat pelapisan air di mana suhu air di permukaan lebih panas dibandingkan suhu air yang berada di lapisan bawahnya. Alat untuk mengukur suhu disajikan pada Gambar 3.

Suhu merupakan salah satu parameter air yang sering diukur, karena kegunaannya dalam mempelajari proses fisika, kimia dan biologi. Suhu air berubah-ubah terhadap keadaan ruang dan waktu. Suhu perairan tropis pada umumnya lebih tinggi daripada suhu perairan sub tropis utamanya pada musim dingin. Penyebaran suhu di perairan terbuka terutama disebabkan oleh gerakan air, seperti arus dan turbulensi. Penyebaran panas secara molekuler dapat dikatakan sangat kecil atau hampir tidak ada (Romimohtarto, 1985).



Gambar 3. Thermometer alat pengukur suhu

Suhu air dapat mempengaruhi sifat fisika, kimia maupun biologi perairan. Secara biologi suhu air dapat mempengaruhi kehidupan plankton dan fisiologis ikan. Menurut Pescod (1973) cit. Krismono dkk., (1987) perubahan suhu yang disebabkan oleh penambahan air untuk perairan mengalir sebaiknya tidak lebih dari $2,8^{\circ}\text{C}$ dan untuk perairan yang tergenang tidak lebih dari $1,70^{\circ}\text{C}$. Suhu air waduk Sermo berkisar antara $26,1\text{--}33,0^{\circ}\text{C}$ (rata-rata $28,90^{\circ}\text{C}$). Fluktuasi suhu sebaiknya tidak lebih dari 4°C , karena pada fluktuasi suhu sebesar 5°C atau lebih dapat mengakibatkan ikan stres (Boyd dan Lichkopler, 1979). Suhu air menunjukkan penurunan dengan semakin bertambahnya kedalaman. Beda suhu rata-rata antara permukaan dan dasar perairan sekitar 3°C . Penurunan ini tidak begitu tajam, sehingga tidak menyebabkan adanya stratifikasi. Suhu air waduk Sermo dan perubahannya secara mendadak tidak terjadi, sehingga mendukung untuk kehidupan pakan alami dan ikan (Triyatmo. 2001)

Sifat-sifat panas air ini yang mempengaruhi lingkungan perairan terdiri: dari: a) Panas jenis. Panas jenis air termasuk salah satu zat yang mempunyai panas jenis yang tinggi, yang mana sangat baik bagi

suatu lingkungan. Panas jenis ini merupakan suatu faktor kapasitas energi panas untuk menaikkan suhu suatu satuan berat pada skala 1°C . b) Suhu. Suhu secara langsung atau tidak langsung sangat dipengaruhi oleh sinar matahari.

Panas yang dimiliki oleh air akan mengalami perubahan secara perlahan-lahan antara siang dan malam serta dari musim ke musim. Selain itu, air mempunyai sifat di mana berat jenis maksimum terjadi pada suhu 4°C dan bukan pada titik beku. Suhu air sangat berpengaruh terhadap jumlah oksigen terlarut di dalam air. Jika suhu tinggi, air akan lebih cepat jenuh dengan oksigen dibanding dengan suhunya rendah.

Suhu air pada suatu perairan dapat dipengaruhi oleh musim, lintang (latitude), ketinggian dari permukaan laut (altitude), waktu dalam satu hari, penutupan awan, aliran dan kedalaman air. Peningkatan suhu air mengakibatkan peningkatan viskositas, reaksi kimia, evaporasi dan volatilisasi serta penurunan kelarutan gas dalam air seperti O_2 , CO_2 , N_2 , CH_4 dan sebagainya. Kisaran suhu air yang sangat diperlukan agar pertumbuhan ikan-ikan pada perairan tropis dapat berlangsung berkisar antara $25\text{-}32^{\circ}\text{C}$.

Kisaran suhu tersebut biasanya berlaku di Indonesia sebagai salah satu negara tropis sehingga sangat menguntungkan untuk melakukan kegiatan budidaya ikan. Suhu air sangat berpengaruh terhadap proses kimia, fisika dan biologi di dalam perairan, sehingga dengan perubahan suhu pada suatu perairan akan mengakibatkan berubahnya semua proses di dalam perairan. Hal ini dilihat dari peningkatan suhu air, maka kelarutan oksigen akan berkurang. Peningkatan suhu perairan 10°C mengakibatkan meningkatnya

konsumsi oksigen oleh organisme akuatik sekitar 2–3 kali lipat, sehingga kebutuhan oksigen oleh organisme akuatik meningkat.

Suhu air dapat dipengaruhi dari berbagai macam hal seperti lamanya penyinaran matahari, pertukaran panas antara udara dengan air, posisi ketinggian tempat atau geografis, kanopi oleh vegetasi tumbuhan di atas perairan, kegiatan manusia seperti pembuangan limbah panas dan lain sebagainya. Di dalam perairan, suhu air menjadi faktor yang mendapat perhatian lebih sebab berkaitan dengan kehidupan hewan serta tumbuhan di dalam perairan. Suhu air juga mempengaruhi metabolisme dari makhluk hidup yang tinggal di dalam air, sebab penyebaran organisme antara di lautan dengan perairan tawar dibatasi oleh suhu air. Suhu air yang tinggi akan meningkatkan laju pertumbuhan, dapat menekan kehidupan bahkan kematian dari hewan – hewan jika suhu perairan sangat tinggi. Saat suhu rendah, ikan – ikan akan lebih mudah terserang bakteri atau jamur, namun oksigen di dalam air menjadi lebih tinggi. Akan tetapi suhu rendah akan memperlambat laju pernafasan serta denyut jantung, sehingga ada kemungkinan ikan – ikan akan pingsan akibat dari kekurangan oksigen di dalam tubuhnya.

Suhu air hilang melalui radiasi ke udara, digunakan dalam penguapan dan konduksi ke tempat lain. Secara tidak langsung suhu dapat menentukan lapisan-lapisan (Stratifikasi) massa air dengan melalui perubahan berat jenis air.

6.2. Stratifikasi Suhu

Suhu perairan darat mengalami stratifikasi suhu secara vertikal. Perbedaan suhu perairan secara vertikal di sajikan pada Gambar 4.

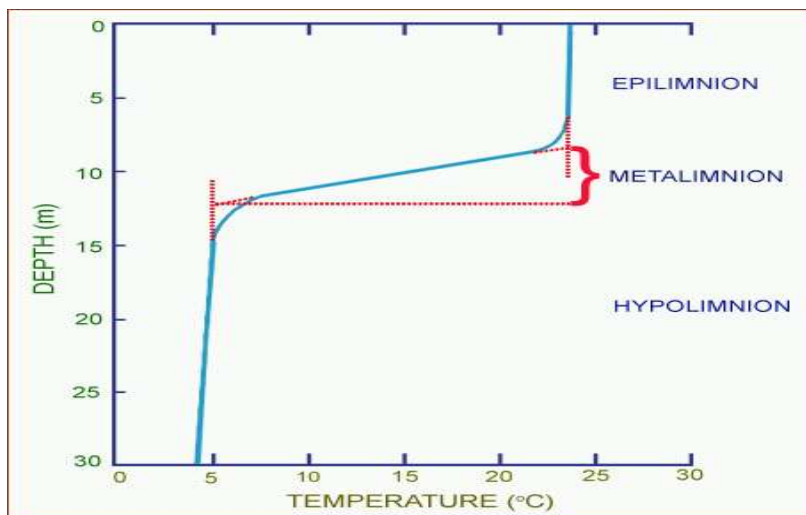
Perbedaan suhu secara vertikal menyebabkan massa air terbagi menjadi tiga bagian. Lapisan air tersebut adalah sebagai berikut:

1. Epilimnion

Epilimnion adalah merupakan lapisan permukaan yang hanya memperlihatkan sedikit stratifikasi panas atau tidak sama sekali. Keseragaman suhu pada lapisan ini hanya disebabkan oleh penguapan, radiasi dan konduksi pada malam hari.

2. Metalimnion

Metalimnion atau termokline adalah lapisan sebelah bawah epilimnion yang memperlihatkan penurunan suhu yang lebih besar atau penurunan suhu secara mendadak secara vertikal. Pada mintakat ini setiap penambahan kedalaman 1 meter terjadi penurunan suhu air sekurang-kurangnya 1°C . Lapisan ini merupakan daerah yang memisahkan lapisan epilimnion dan hypolimnion.



Gambar 4. Distribusi Suhu secara Vertikal

3. Hypolimnion

Lapisan ini terletak sebelah bawah dari metalimnion yang memanjang dari metalimnion ke dasar danau. Pada daerah ini memperlihatkan suhu yang relatif rendah dan tidak pernah berhubungan dengan udara. Lapisan ini dicirikan oleh perbedaan suhu secara vertikal yang relatif kecil. Massa air bersifat stagnan, tidak mengalami pencampuran. Densitas air lebih besar. Perbedaan air di permukaan dengan suhu air di dasar pada wilayah Tropik hanya sekitar 2-3°C. Keadaan organisme dalam lapisan ini terutama tumbuhan untuk proses fotosintesis sangat kritis. Hal ini berarti bahwa oksigen yang tersedia bagi pernapasan hewan-hewan sangat kurang dan karbon dioksida bertambah dan fitoplankton jarang sekali.

Termoklin (juga dikenal sebagai lapisan termal atau metalimnion di danau) adalah lapisan tipis dalam fluida bervolume besar (seperti laut, danau, atau atmosfer) yang mengalami perubahan temperatur ekstrim seiring dengan perubahan kedalamannya. Di lautan, termoklin membagi lapisan atas (upper mixed layer) dengan lapisan air tenang di bawahnya.

Termoklin bisa jadi adalah fitur semi permanen dalam perairan karena keberadaan lapisan ini sangat bergantung pada musim, lintang, dan pencampuran turbulen oleh angin. Termoklin terbentuk sebagai akibat dari pemanasan/pendinginan radiatif permukaan air pada siang/malam hari. Faktor-faktor yang mempengaruhi kedalaman dan ketebalan termoklin meliputi variasi cuaca musiman, garis lintang, dan kondisi lingkungan setempat, seperti pasang surut dan arus fluida. Termoklin tergantung pada musim, garis lintang, dan pencampuran turbulen oleh angin, termoklin mungkin merupakan fitur semi-

permanen dari tubuh air di mana mereka muncul, atau mereka dapat terbentuk sementara sebagai respons terhadap fenomena seperti pemanasan radiasi / pendinginan air permukaan siang hari / malam. Faktor-faktor yang mempengaruhi kedalaman dan ketebalan termoklin meliputi variasi cuaca musiman, garis lintang, dan kondisi lingkungan setempat, seperti pasang surut dan arus.

Sebagian besar energi panas sinar matahari diserap dalam beberapa sentimeter pertama di permukaan laut, yang memanaskan pada siang hari dan mendingin pada malam hari karena energi panas hilang ke angkasa oleh radiasi. Gelombang mencampur air di dekat lapisan permukaan dan mendistribusikan panas ke air yang lebih dalam sehingga suhunya mungkin relatif seragam di atas 100 m (330 kaki), tergantung pada kekuatan gelombang dan keberadaan turbulensi permukaan yang disebabkan oleh arus. Di bawah lapisan campuran ini, suhu relatif stabil selama siklus siang / malam. Suhu laut dalam turun secara bertahap dengan kedalaman. Karena air garam tidak membeku hingga mencapai $-2,3^{\circ}\text{C}$ ($27,9^{\circ}\text{F}$) (lebih dingin seiring meningkatnya dan tekanan) suhu di bawah permukaan biasanya tidak jauh dari nol derajat.

Kedalaman termoklin bervariasi. Ini semi-permanen di daerah tropis, variabel di daerah beriklim sedang (sering terdalam selama musim panas) dan dangkal hingga tidak ada di daerah kutub, di mana kolom air dingin dari permukaan ke bawah. Lapisan es laut akan bertindak sebagai selimut insulasi.

Di lautan terbuka, termoklin dicirikan oleh gradien kecepatan suara negatif, menjadikan termoklin penting dalam peperangan kapal selam karena dapat mencerminkan sonar aktif dan sinyal akustik

lainnya. Ini berasal dari diskontinuitas dalam impedansi akustik air yang diciptakan oleh perubahan kepadatan yang tiba-tiba.

Sebuah termoklin di mana air turun pada suhu beberapa derajat Celsius secara tiba-tiba kadang-kadang dapat diamati antara dua badan air, misalnya di mana air yang lebih dingin mengalir ke lapisan permukaan air hangat. Ini memberi air penampilan kaca keriput yang sering digunakan untuk mengaburkan jendela kamar mandi dan disebabkan oleh indeks bias diubah dari kolom air dingin atau hangat. *Schlieren* yang sama ini dapat diamati ketika udara panas naik dari landasan di bandara atau jalan gurun dan merupakan penyebab fatamorgana.

Termoklin juga dapat diamati di danau. Dalam iklim yang lebih dingin, ini mengarah pada fenomena yang disebut stratifikasi. Selama musim panas, air hangat, yang kurang padat, akan berada di atas air yang lebih dingin, lebih padat, lebih dalam dengan termoklin yang memisahkan mereka. Lapisan hangat disebut epilimnion dan lapisan dingin disebut hypolimnion . Karena air hangat terpapar matahari pada siang hari, sistem yang stabil ada dan sangat sedikit pencampuran air hangat dan air dingin terjadi, terutama dalam cuaca yang tenang.

Salah satu hasil dari kestabilan ini adalah bahwa ketika musim panas terus berlangsung, semakin sedikit oksigen di bawah termoklin karena air di bawah termoklin tidak pernah bersirkulasi ke permukaan dan organisme di dalam air menghabiskan oksigen yang tersedia. Saat musim dingin mendekat, suhu air permukaan akan turun karena pendinginan malam hari mendominasi perpindahan panas. Suatu titik tercapai di mana kerapatan air permukaan pendingin menjadi lebih besar dari kerapatan air dalam dan penggulingan dimulai saat air permukaan padat bergerak turun di bawah pengaruh gravitasi. Proses

ini dibantu oleh angin atau proses lainnya (arus misalnya) yang mengganggu air. Efek ini juga terjadi di perairan Kutub Utara dan Antartika, membawa air ke permukaan yang, meskipun rendah oksigen, lebih banyak nutrisi daripada air permukaan asli.

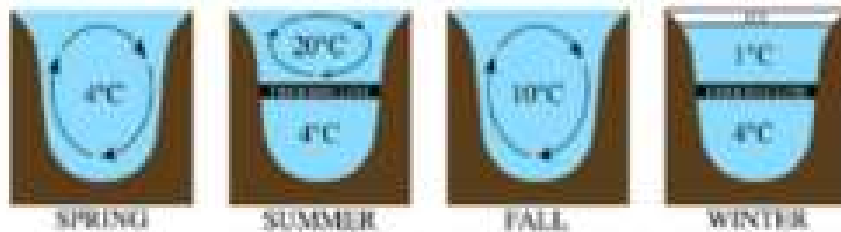
Ketika suhu terus turun, air di permukaan mungkin menjadi cukup dingin untuk membeku dan danau / lautan mulai membeku. Termoklin baru berkembang ketika air terpadat (4°C (39°F) tenggelam ke dasar, dan air yang kurang padat (air yang mendekati titik beku) naik ke atas. Setelah stratifikasi baru ini terbentuk, ia bertahan hingga air cukup hangat untuk 'pergantian pegas,' yang terjadi setelah es mencair dan suhu air permukaan naik hingga 4°C .

6.3 Siklus Suhu Tahunan

Pada musim dingin danau-danau dimiktik bercampur dari permukaan ke bawah dua kali setiap tahun. Danau dimiktik bersifat holomiktik, suatu kategori yang mencakup semua danau yang bercampur satu atau lebih kali dalam setahun. Selama musim dingin, mereka ditutupi oleh es. Selama musim panas, mereka bertingkat termal, dengan perbedaan kepadatan suhu yang diturunkan memisahkan air permukaan hangat (epilimnion), dari air dasar yang lebih dingin (hypolimnion). Danau seperti itu biasa terjadi di daerah lintang tengah dengan iklim sedang.

Pencampuran biasanya terjadi selama musim semi dan musim gugur, ketika danau "isothermal" (yaitu pada suhu yang sama dari atas ke bawah). Pada saat ini, air di seluruh danau mendekati 4°C (suhu kepadatan maksimum), dan, tanpa adanya perbedaan suhu atau kepadatan, danau siap bercampur dari atas ke bawah. Selama musim dingin setiap pendinginan tambahan di bawah 4°C menghasilkan stratifikasi kolom air, sehingga danau dimiktik biasanya memiliki

stratifikasi termal terbalik, dengan air pada 0 °C di bawah es dan kemudian dengan suhu meningkat hingga mendekati 4 °C di dasar danau.



Setelah es mencair pada musim semi, kolom air bisa tercampur oleh angin. Di danau besar, kolom air bagian atas sering di bawah 4 °C ketika es mencair, sehingga pegas ditandai dengan pencampuran yang berkelanjutan dengan konveksi tenaga surya, hingga kolom air mencapai 4 °C. Di danau-danau kecil, periode pembalikan pegas bisa sangat singkat, sehingga pembalikan pegas seringkali jauh lebih pendek daripada pembalikan jatuh. Saat kolom air bagian atas memanaskan melewati 4 °C, stratifikasi termal mulai berkembang.

Selama musim panas, panas berfluktuasi dari atmosfer ke danau menghangatkan lapisan permukaan. Ini menghasilkan danau dimiktik yang memiliki stratifikasi termal yang kuat, dengan epilimnion hangat yang dipisahkan dari hipolimnion dingin oleh metalimnion. Dalam metalimnion ada termoklin, biasanya didefinisikan sebagai wilayah di mana gradien suhu melebihi 1 °C/m. Karena gradien kepadatan stabil, pencampuran dihambat dalam termoklin, yang mengurangi transpor vertikal oksigen terlarut. Jika sebuah danau eutrofik dan memiliki permintaan oksigen sedimen yang tinggi, hipolimnion di danau dimiktik dapat menjadi hipoksia selama stratifikasi musim panas, seperti yang sering terlihat di Danau Erie .

Selama stratifikasi musim panas, sebagian besar danau diamati mengalami gelombang internal karena input energi dari angin. Jika danau kecil (panjangnya kurang dari 5 km), maka periode seiche internal diprediksi dengan baik oleh rumus Merian. Gelombang internal periode panjang di danau yang lebih besar dapat dipengaruhi oleh gaya Coriolis (karena rotasi Bumi). Hal ini diperkirakan terjadi ketika periode seiche internal menjadi sebanding dengan periode inersia lokal, yaitu 16.971 jam pada garis lintang 45°N (tautan ke utilitas Coriolis). Di danau besar (seperti Danau Simcoe, Danau Jenewa, Danau Michigan atau Danau Ontario) frekuensi yang diamati dari seiches internal didominasi oleh gelombang Poincaré dan gelombang Kelvin.

Pada akhir musim panas, suhu udara turun dan permukaan danau menjadi dingin, menghasilkan lapisan campuran yang lebih dalam, sampai pada suatu titik kolom air menjadi isothermal, dan umumnya tinggi oksigen terlarut. Selama musim gugur kombinasi angin dan suhu udara pendingin terus membuat kolom air tercampur. Air terus mendingin hingga suhunya mencapai 4°C . Seringkali jatuh terbalik bisa bertahan selama 3-4 bulan.

Setelah kolom air mencapai suhu kerapatan maksimum pada 4°C , setiap pendinginan berikutnya menghasilkan lebih sedikit air padat karena non-linearitas persamaan keadaan air. Dengan demikian, awal musim dingin adalah periode restratifikasi. Begitu es terbentuk di danau, fluks panas dari atmosfer sebagian besar mati. Perkembangan stratifikasi termal selama musim dingin kemudian didefinisikan oleh dua periode: Musim Dingin I dan Musim Dingin II. Selama periode awal musim dingin Musim Dingin I fluks panas utama adalah karena panas yang tersimpan dalam sedimen; selama periode

ini danau memanaskan dari bawah membentuk lapisan dalam air 4 °C. Selama akhir musim dingin, permukaan es mulai mencair dengan semakin panjangnya hari, ada peningkatan sinar matahari yang menembus es ke dalam kolom air bagian atas. Jadi selama Musim Dingin II, fluks panas utama sekarang dari atas, dan pemanasan menyebabkan lapisan tidak stabil terbentuk, menghasilkan konveksi yang digerakkan oleh matahari. Pencampuran kolom air atas ini penting untuk menjaga plankton dalam suspensi.

Danau di negara-negara Eropa atau negara-negara bermusim empat lain pada musim dingin, akan terlihat bahwa air membeku hanya pada permukaan danau saja, Kejadian tersebut merupakan hasil dari anomali air, zat-zat akan memuai jika suhunya meningkat dan menyusut jika suhunya menurun, contohnya yaitu naiknya permukaan air raksa di thermometer ruangan jika suhu ruangan naik. Namun sifat ini tidak berlaku sepenuhnya untuk air, karena jika suhu air meningkat dari 0 °C ke 4 °C maka air tidak memuai tetapi malah menyusut dan jika suhu air turun dari 4 °C ke 0 °C maka air akan memuai. Dan untuk suhu di atas 4 °C air kembali normal dan sesuai kesepakatan di atas. Perilaku air inilah yang disebut anomali air.

Hubungan antara sifat anomali air ini dengan kondisi danau di negara bermusim empat pada musim dingin dapat dijelaskan sebagai berikut: Sebagaimana diketahui bahwa jika suatu zat menyusut maka volumenya menjadi lebih kecil dan massa jenisnya (Perbandingan massa dan volum zat) menjadi lebih besar dibanding ketika zat tersebut memuai. Dengan demikian massa jenis air terbesar berada pada suhu 4°C. Kondisi danau apabila udara dingin, air permukaan danau menjadi dingin, air menyusut hingga massa jenisnya menjadi besar, sedang air di dasar danau masih hangat dan massa jenisnya

lebih kecil dari air permukaan, karenanya partikel-partikel air di permukaan turun ke bawah dan partikel-partikel air di dasar danau naik ke atas (Hal ini dapat kita pahami seperti meletakkan besi di permukaan air, karena massa jenis besi lebih besar maka besi akan turun ke dasar air). Kejadian tersebut berlangsung bolak-balik karena suhu permukaan terus mendingin, hingga suhu air di danau berada pada 4 °C, pada suhu ini, massa jenis air terbesar sehingga air di dasar tak dapat naik lagi ke atas dan tetap berada di dasar meskipun air permukaan mendingin dan akhirnya air permukaan danau menjadi beku, dan tetap berada di permukaan danau. Jika tidak ada anomali air ini maka pertukaran partikel akan terus berlangsung dan alhasil danau beku total, hal ini tentunya tidak baik bagi kehidupan makhluk hidup di danau. Sekali lagi, kejadian alam membuktikan bahwa Tuhan Maha Mengetahui dan Maha Pencipta. (Giancoli, 2001)

"Pencampuran" dalam konteks ini, mengacu pada homogenisasi kolom air karena istilah *"amiktik"* tidak dimaksudkan untuk menyiratkan bahwa air danau stagnan. Dengan pengecualian yang jarang yaitu danau di dekat tepi icecaps permanen di Greenland dan Antartika, Danau Amik memang mengalami pencairan di sekeliling tepi danau selama musim panas, menghasilkan "parit" air di sekitar es tebal yang tersisa di pusat danau. Pencairan ini terjadi sebagai akibat dari panas yang diserap oleh air dan sedimen di bawah es, terutama di daerah air dangkal, ketika salju tidak menutupi es, dan juga oleh aliran panas dan limpasan air lelehan dari tanah sekitarnya. Pencampuran di bawah es terjadi karena arus kerapatan yang dihasilkan oleh panas dari radiasi matahari langsung dan dari limpasan air lelehan yang mungkin berbeda dalam kerapatan dari air danau karena suhu dan kandungan sedimen yang tersuspensi, tergantung pada sumber dan

jalur alirannya. Terlepas dari proses ini, efek angin di permukaan danau sangat berkurang karena lapisan es, sehingga pencampuran vertikal kolom air mungkin tidak lengkap. Ini dapat menyebabkan kondisi anoksik, yang berimplikasi pada proses biogeokimia di dalam danau.

Pada danau Amiktik selamanya tertutup oleh es dari sebagian besar variasi suhu musiman. Danau Amiktik menunjukkan stratifikasi air dingin terbalik di mana suhu air meningkat dengan kedalaman di bawah permukaan es 0 °C (kurang padat) hingga maksimum secara teoritis 4 °C (di mana kepadatan air tertinggi).

Hutchinson Löffler (1956) mengklasifikasikan danau jenis amik dan lainnya berdasarkan proses fisik / termal. Proses ini dipengaruhi oleh radiasi matahari dan angin. Mereka sangat terikat dengan musiman dan terkait dengan garis lintang dan ketinggian. Danau Amiktik terjadi di daerah Arktik, Antartika, dan Alpine karena tutupan es permanen, pengaruh fisik/ termal ini memiliki efek terbatas pada sirkulasi di kolom air. Oleh karena itu danau amiktik sering disebut sebagai danau yang tidak pernah bercampur.

Danau holomiktik adalah danau yang memiliki suhu dan kepadatan yang seragam dari atas ke bawah pada waktu tertentu sepanjang tahun, yang memungkinkan air danau bercampur sempurna. Danau ini merupakan danau non-meromiktik. Sebagian besar danau bersifat holomiktik. Danau meromiktik jarang terjadi, meskipun mereka mungkin lebih jarang dari yang diperkirakan. Ada enam jenis danau holomiktik: 1) Danau meromiktik; 2) Danau polimiktik; 3) Danau monomik dingin; 4) Danau monomik hangat; 5) Danau dimiktik, 6) Danau oligomiktik

Danau meromiktik adalah danau yang memiliki lapisan air yang tidak bercampur. Di danau biasa, "holomiktik ", setidaknya sekali setiap tahun, ada pencampuran fisik permukaan dan perairan dalam.

Istilah *meromiktik* diciptakan oleh Ingo Findenegg Austria pada tahun 1935, tampaknya berdasarkan pada kata *holomiktik* yang lebih tua. Konsep dan terminologi yang digunakan dalam menggambarkan danau meromiktik pada dasarnya lengkap setelah beberapa tambahan oleh G. Evelyn Hutchinson pada tahun 1937.

Sebagian besar danau bersifat *holomiktik*; yaitu, setidaknya sekali setahun, pencampuran fisik terjadi antara permukaan dan perairan dalam. Dalam apa yang disebut danau monomik, pencampuran terjadi sekali setahun; di danau dimiktik , pencampuran terjadi dua kali setahun (biasanya musim semi dan musim gugur), dan di danau polimiktik, pencampuran terjadi beberapa kali dalam setahun. Namun, di danau meromiktik, lapisan air danau tetap tidak tercampur selama bertahun-tahun, puluhan tahun, atau berabad-abad.

Danau meromiktik biasanya dapat dibagi menjadi tiga bagian atau lapisan. Lapisan bawah dikenal sebagai *monimolimnion*; air di bagian danau ini bersirkulasi sedikit, dan umumnya hipoksia dan lebih asin daripada bagian danau lainnya. Lapisan atas disebut *mixolimnion* dan pada dasarnya berperilaku seperti danau holomik. Area di antaranya disebut sebagai *chemocline*.

Kurangnya pencampuran antar lapisan menciptakan lingkungan yang sangat berbeda bagi organisme untuk hidup: di antara konsekuensi stratifikasi ini, atau pelapisan yang stabil, air danau adalah bahwa lapisan bawah menerima sedikit oksigen dari atmosfer, sehingga menjadi kehabisan oksigen. Sementara lapisan permukaan mungkin memiliki 10 mg / L atau lebih oksigen terlarut di musim panas,

kedalaman danau meromiktik dapat memiliki kurang dari 1 mg/L. Sangat sedikit organisme yang dapat hidup di lingkungan yang miskin oksigen. Satu pengecualian adalah bakteri sulfur ungu. Bakteri ini, umumnya ditemukan di bagian atas monimolimnion di danau tersebut, menggunakan senyawa sulfur seperti sulfida dalam fotosintesis. Senyawa ini diproduksi oleh dekomposisi sedimen organik di lingkungan yang miskin oksigen. Monimolimnion sering kaya akan fosfor dan nitrogen. Faktor-faktor ini bergabung untuk menciptakan lingkungan yang ideal untuk pertumbuhan bakteri. Mixolimnion dapat memiliki kualitas serupa. Namun, jenis-jenis bakteri yang dapat tumbuh di permukaan ditentukan oleh jumlah cahaya yang diterima di permukaan.

Danau meromiktik dapat terbentuk karena beberapa alasan:

1. Cekungan ini luar biasa dalam dan sisi curam dibandingkan dengan luas permukaan danau
2. Lapisan bawah danau sangat asin dan lebih padat dari lapisan atas air

Lapisan sedimen di dasar danau meromiktik tetap relatif tidak terganggu karena hanya ada sedikit pencampuran fisik dan beberapa organisme hidup yang mengaduknya. Ada juga sedikit penguraian kimia. Oleh karena itu, inti sedimen di dasar danau meromiktik penting dalam mengetahui perubahan iklim masa lalu di danau.

Ketika lapisan-lapisan itu bercampur, organisme yang hidup pada lapisan yang tercampur dapat hancur. Lapisan ini biasanya jauh lebih kecil volumenya daripada monimolimnion. Ketika lapisan-lapisan itu bercampur, konsentrasi oksigen di permukaan akan menurun secara dramatis. Hal ini dapat mengakibatkan kematian banyak organisme, seperti ikan, yang membutuhkan oksigen.

Kadang-kadang, karbon dioksida (CO_2) atau gas terlarut lainnya dapat menumpuk di lapisan bawah danau meromiktik. Ketika stratifikasi terganggu, seperti yang bisa terjadi akibat gempa bumi, letusan limnic dapat terjadi. Pada tahun 1986, peristiwa penting dari jenis ini terjadi di Danau Nyos di Kamerun, menyebabkan hampir 1.800 kematian.

Meskipun sebagian besar adalah danau yang meromiktik, cekungan meromiktik terbesar di dunia adalah Laut Hitam. Perairan dalam di bawah 50 meter (150 kaki) tidak bercampur dengan lapisan atas yang menerima oksigen dari atmosfer. Akibatnya, lebih dari 90% volume Laut Hitam yang lebih dalam adalah air anoksik. Laut Kaspia anoksik di bawah 100 meter (300 kaki). Laut Baltik secara terus-menerus dikelompokkan, dengan air yang padat dan sangat asin yang terdiri dari lapisan bawah, dan daerah-daerah besar sedimen hipoksia.

Ada danau meromik di seluruh dunia. Distribusi tampaknya berkerumun, hal tersebut karena investigasi yang tidak lengkap. Bergantung pada definisi pasti "meromiktik", rasio antara danau meromiktik dan holomiktik di seluruh dunia mencapai sekitar 1: 1000.

Danau monomik adalah danau holomik yang bercampur dari atas ke bawah selama satu periode pencampuran setiap tahun. Danau monomik dapat dibagi lagi menjadi tipe dingin dan hangat. Danau monomik dingin adalah danau yang tertutupi oleh es sepanjang tahun. Selama musim panas air permukaan tetap di bawah 4 °C. Es mencegah danau-danau ini bercampur di musim dingin. Selama musim panas, danau-danau ini tidak memiliki stratifikasi termal yang signifikan, dan mereka bercampur secara menyeluruh dari atas ke bawah. Danau-danau ini khas dari daerah beriklim dingin (mis. Sebagian besar Kutub Utara).

Danau monomik hangat adalah danau yang tidak pernah membeku, dan secara termal bertingkat sepanjang tahun. Perbedaan kepadatan antara perairan permukaan hangat (epilimnion) dan perairan dasar yang lebih dingin (hypolimnion) mencegah danau-danau ini bercampur di musim panas. Selama musim dingin, permukaan air dingin dengan suhu yang sama dengan perairan dasar. Karena tidak memiliki stratifikasi termal yang signifikan, danau-danau ini bercampur aduk setiap musim dingin dari atas ke bawah. Danau-danau ini tersebar luas dari daerah beriklim sedang ke tropis. Salah satu contohnya adalah *Blue Lake* Australia Selatan, di mana perubahan sirkulasi ditandai oleh perubahan warna yang mencolok.

Danau polimiktik adalah danau holomik yang terlalu dangkal untuk mengembangkan stratifikasi termal; dengan demikian, air dapat bercampur dari atas ke bawah sepanjang periode bebas es. Danau polimiktik dapat dibagi menjadi danau polimiktik dingin (yaitu, yang tertutup es di musim dingin), dan danau polimiktik hangat (yaitu danau polimiktik di daerah di mana tutupan es tidak berkembang di musim dingin). Meskipun rata-rata danau seperti itu tercampur rata, selama periode angin rendah, stratifikasi yang lemah dan sesaat sering kali berkembang.

PERGERAKAN AIR DAN ARUS

7.1. Pergerakan air

Pergerakan air adalah gerakan massa air dari satu tempat ke tempat lain baik secara vertikal (gerak ke atas) maupun secara horizontal (gerakan ke samping). Contoh-contoh gerakan itu seperti gaya *coriolis*, yaitu gaya yang membelok arah arus dari tenaga rotasi bumi. Gerakan permukaan meliputi sungai, anak sungai, danau, kolam, dan buatan manusia. Pergerakan air pada sungai disebabkan oleh gravitasi. Seperti air mengalir di saluran, *streambed* dan tepi saluran akan menahan aliran air. Kecepatan air tergantung pada kecuraman lereng, jenis batuan atau tanah, jumlah vegetasi, bentuk aliran tidur, dan penghalang.

Air yang telah menembus tanah atau batuan dasar kemudian bergerak melalui batuan yang memiliki ruang pori tinggi. Air berasal dari infiltrasi air permukaan termasuk danau, sungai, kolam resapan, dan bahkan sistem pengolahan air limbah. Air tanah juga dipengaruhi oleh gaya gravitasi.

Sungai dan anak sungai adalah sistem air permukaan dengan jaringan saluran yang mengumpulkan dan bergerak limpasan. Limpasan adalah kelebihan air yang tidak terserap oleh daerah sekitarnya. Limpasan dapat dibuat oleh hujan, salju mencair, atau air tanah debit. Bentuk sistem sungai akan tergantung pada topografi, jenis batuan atau tanah itu berpengaruh melalui, dan gaya keanekaragaman hayatinya. Misalnya, pohon-pohon pinus memerlukan banyak air untuk tumbuh. Limpasan di hutan pohon pinus

akan kurang dari jika daerah itu dihuni oleh pohon ek. Pohon ek membutuhkan air kurang dari pinus, sehingga lebih banyak air akan tersedia sebagai limpasan.

Ada banyak jenis aliran tergantung pada kecepatan sungai. Jika kecepatan tinggi, ia cenderung untuk memotong batuan dasar dalam "lurus" line. Kecepatan akan tinggi jika ada bantuan yang memadai. Ketika kecepatan rendah, aliran akan cenderung berliku-liku tergantung jenis batuan dan topografinya.

Kecepatan air sangat tergantung pada jenis pola dasar saluran, misalnya berkelok-kelok, atau lurus. Daerah sungai dengan sifat fisik dengan pola dasar lurus cenderung mengikis bagian terdalam dari sungai (disebut *thalweg*) dan di setiap sisi saluran sungai. Erosi tanah dimulai pemisahan fisik tanah menjadi butiran-butiran yang kasar dan halus. Butiran tanah yang lebih besar bergerak sangat jauh dan keluar dari sistem. Namun, lebih halus sedimen berbutir mengendap di daerah yang lebih tenang. Sehingga air salah satu sisi sungai dan sisi lain akan menyebabkan adanya endapan sedimen tanah.

Bahan alam yang terlarut ke dalam suatu badan air akibat erosi, kadarnya meningkat secara eksponensial dengan meningkatnya debit air. Debit air dinyatakan sebagai volume air yang mengalir pada selang waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam satuan m^3/detik , dimana debit air (m^3/detik) merupakan hasil perkalian antara kecepatan arus (m/detik) dengan luas penampang saluran air (m^2).

7.2. Arus Air

Umumnya air danau bergerak sebagian dan seluruhnya. Pergerakan ini dapat timbul oleh pengaruh dari dalam, dari luar atau keduanya. Misalnya perbedaan suhu atau berat jenis gravitasi dan

angin. Kejadian ini menyebabkan sirkulasi air, zat-zat hara dan jasad-jasad di danau yang biasanya disebut arus.

Arus adalah gerakan massa air dari suatu tempat (posisi) ke tempat yang lain. Arus terjadi dimana saja di perairan. Pada hakekatnya, energi yang menggerakkan massa air tersebut berasal dari matahari. Adanya perbedaan pemanasan matahari terhadap permukaan bumi menimbulkan pula perbedaan energi yang diterima permukaan bumi. Perbedaan ini menimbulkan fenomena arus dan angin yang menjadi mekanisme untuk menyeimbangkan energi di seluruh muka bumi. Kedua fenomena ini juga saling berkaitan erat satu dengan yang lain. Angin merupakan salah satu gaya utama yang menyebabkan timbulnya arus selain gaya yang timbul akibat dari tidak samanya pemanasan dan pendinginan air. Arus air dapat juga terjadi akibat adanya perbedaan tekanan antara tempat yang satu dengan tempat yang lain.

Kecepatan arus (*velocity/ flow rate*) dari suatu badan air sangat berpengaruh terhadap kemampuan badan air untuk mengasimilasi dan mengangkut bahan pencemar. Kecepatan arus berperan dalam perkiraan pergerakan bahan pencemar sebagai contoh pengetahuan akan kecepatan arus digunakan untuk memperkirakan kapan bahan pencemar mencapai suatu lokasi tertentu apabila bagian hulu suatu badan air mengalami pencemaran. Kecepatan arus dinyatakan dalam satuan m/detik.

Menurut letaknya arus dibedakan menjadi dua yaitu arus atas dan arus bawah. Arus atas adalah arus yang bergerak di permukaan danau. Sedangkan arus bawah adalah arus yang bergerak di bawah permukaan danau.

Dalam danau arus dapat dibagi menjadi 3 yaitu: 1) Arus vertikal. Sebenarnya arus vertikal merupakan arus yang jarang terjadi, tetapi untuk danau yang besar mungkin terjadi. Arus ini timbul karena pengaruh temperatur yang tidak normal, morfologi dan hidrostatik setempat atau umumnya terjadi di tempat yang dalam. 2) Arus horizontal Arus ini sangat umum terjadi di danau dan dipengaruhi oleh angin dan juga *shoreline* atau basinnnya. Untuk danau yang besar 5% dari angin yang menimbulkan, tapi untuk danau yang kecil $\pm 5\%$. Di samping secara tak langsung dipengaruhi oleh letak lintang dan pada $450 \pm 2\%$ angin yang mempengaruhinya. Perlu dicatat bahwa arus dipengaruhi oleh *inflow/outflow* dan walaupun tak ada angin akan tetap menimbulkan arus karena *inflow/outflow* tersebut. 3) Arus batik (*under flow*) Arus ini ditimbulkan oleh air yang tertimbun pada *expased shore* yang diakibatkan oleh angin dan karena adanya kelebihan air maka akan dikembalikan melalui dasarnya.

Pada musim panas stratifikasi temperatur pada danau akan nampak nyata, pada lapisan atas atau epilimnon biasanya sama arah arus dengan arah angin karena temperatur masih sama dengan temperatur udara. Pada lapisan di bawahnya yaitu *termocline* region akan terjadi arus batik di mana batas antara kedua lapisan stratifikasi dikenal dengan *shearing plane*. Untuk lapisan terbawah hypolimnon tak terjadi arus, walaupun kadang-kadang tak dapat dihindarkan timbulnya sirkulasi air.

Besar kecilnya suhu dapat dibedakan terhadap letak atau wilayah pada perairan, yakni : 1) Suhu air di wilayah lintang tinggi. Suhu perairan dilapisan permukaan di wilayah lintang tinggi cenderung sangat rendah ($< -1^{\circ}\text{C}$) dan semakin meningkat hingga mencapai 1°C pada lapisan kedalaman tertentu. Setelah mencapai puncaknya, suhu

menurun hingga dasar perairan. 2) Suhu air di wilayah lintang rendah. Suhu perairan dilapisan permukaan di wilayah lintang rendah cenderung lebih tinggi ($> 24^{\circ}\text{C}$) dan semakin menurun hingga 4°C pada wilayah lapisan perairan dalam. Setelah mencapai puncaknya suhu menurun hingga wilayah dasar perairan dalam. 3) Suhu air di wilayah lintang tengah. Suhu perairan dilapisan permukaan di wilayah lintang tengah cenderung lebih tinggi (sekitar 10°C) dan semakin menurun hingga 4°C hingga wilayah lapisan dasar laut dalam. Suhu diukur dengan menggunakan termometer, di mana menggunakan satuan unit $^{\circ}\text{C}$. Alat untuk mengukur arus disebut Current meter
Alat untuk mengukur arus disebut Current meter



Gambar 5. Current meter alat pengukur kecepatan Arus

a. Arus Konveksi

Arus konveksi yang mempengaruhi penyebaran panas adalah merupakan arus yang ditimbulkan oleh pengaruh perbedaan berat jenis yang disebabkan oleh penguapan, radiasi dan pendinginan pada permukaan air. Partikel –partikel air yang dingin dan berat tenggelam dari permukaan sampai lapisan yang suhu dan berat jenisnya sama. Proses ini menimbulkan arus konveksi yang menyebabkan terjadinya pencampuran air. Arus konveksi ini, menyebabkan pencampuran pada

lapisan tertentu dan tidak akan mentransferkan panas sampai ke lapisan yang lebih dalam.

b. Arus priodik dan tidak priodik

Umumnya air danau bergerak sebagian atau seluruhnya, pergerakan ini dapat timbul oleh pengaruh dari dalam, dari luar atau keduanya, misalnya perbedaan suhu atau berat jenis, gravitasi dan angin. Kejadian ini mengakibatkan sirkulasi air, zat–zat hara dan jasad–jasad di danau yang biasanya disebut arus sistem pergerakan air ini terdiri dari :

- Sistem Arus yang tidak periodik

Umumnya sistem arus di danau ini timbul dan dipertahankan oleh kekuatan luar. Pergerakan air disebabkan oleh penyebaran panas di danau, pemasukan air ke dalam danau dan pengaruh angin. Pengaruh faktor tersebut menyebabkan timbulnya sistem pergerakan air yang mempunyai satu arah.

- Sistem arus yang periodik

Sistem arus terbagi atas dua bagian yaitu gelombang permukaan dan *seiche*. Gelombang permukaan terbentuk akibat tahanan berhembus yang menyebabkan gerak air .pergerakan air ini merupakan fase awal dalam pembentukan gelombang. Kecepatan angin dan waktu menekannya pada gelombang sangat menentukan besar gelombang. Pengaruh gelombang ini terbatas pada lapisan air yang paling atas dan tidak berpengaruh pada pemindahan massa air yang lebih besar. Yang paling penting dalam hal ini sampai berapa dalam gelombang permukaan berpengaruh. Pengaruh gelombang ini penting terutama dalam proses sedimentasi dan erosi yang dapat mengubah morfologi dasar danau dan pantai.

Sedangkan Seiche adalah merupakan sistem arus yang periodik, di mana lapisan air berosilasi satu atau beberapa simpul. Sistem arus ini menyebabkan perpindahan air yang lebih besar dari pada gelombang permukaan. Sistem arus seiche timbul karena adanya kelebihan tekanan yang terdapat pada permukaan air. Tekanan ini timbul akibat variasi barometer setempat, angin atau hujan. Seiche tidak hanya terjadi pada perairan yang mempunyai dua lapisan atau lebih.

Seiche yang terdapat pada lapisan air yang lebih dalam disebut internal seiche. Internal seiche dikenal ada 2 macam yaitu: 1) Thermocline seiche yang terjadi akibat gerak massa air antara epilimnion dan hypolimnion, 2) Hypolimnion seiche yang letaknya antara metalimnion dan hypolimnion. Kedua jenis seiche tersebut tergantung pada panjang dan perbedaan berat jenis antara kedua lapisan tersebut.

BAB VIII**ASPEK KIMIA PERAIRAN DARAT**

Komposisi dalam perairan dipengaruhi oleh proses-proses fisika, kimia dan biologi yang terjadi. Air tawar berasal dari hujan atmosfer yang mengandung bervariasi zat organik dan anorganik. Partikel-partikel tersebut berasal dari garam-garam lautan, debu, emisi industri sebagai inti dan uap air yang mengalami kondensasi menjadi awan.

Hujan di daerah pantai dan area kota lebih banyak mengandung muatan/kotoran (*impurities*) daripada daerah rural (desa) dan area daratan. Hal tersebut karena konsentrasi garam laut di udara lebih besar dan emisi dari pembakaran kayu/batubara di area tersebut berpolusi tinggi. Curah hujan sedikit asam karena mengandung CO_2 . Curah hujan di daerah kota (urban) dapat mempunyai pH yang sangat asam karena banyak mengandung S yang dilepas ke atmosfer dari pembakaran (oksidasi) dari batubara (fuel).

Adanya hujan yang jatuh ke daratan menyebabkan aliran permukaan (*run off*) di atas tanah dan batuan yang melarutkan bermacam-macam zat sehingga kandungan mineral air hujan meningkat. Tingkat mineralisasi dan tipe zat anorganik yang terlarut oleh aliran permukaan tergantung oleh: komposisi dan kelarutan formasi geologi dan waktu kontak antara air dan bahan mineral.

Air melalui vegetasi juga melarutkan berbagai senyawa organik. Bahan partikel baik organik maupun anorganik tersuspensi dalam aliran permukaan. Air mengalir mencapai kolam, danau atau

waduk, bahan partikel yang lebih besar mengendap karena gerakan turbulensi kurang cukup mensuspensi kembali. Reaksi-reaksi dapat terjadi antara air dan lumpur dasar, antara zat-zat terlarut berbeda, antara zat-zat terlarut dan tersuspensi karena komponen-komponen dalam sistem akuatik jarang, jika ada, seluruhnya dalam keadaan setimbang/ekuilibrium.

Evaporasi yang berlebihan menyebabkan peningkatan konsentrasi zat-zat terlarut. Proses biologi mengubah komposisi air melalui pengambilan ion-ion atau gas-gas atau melalui pelepasan hasil metabolisme. Beberapa hal proses biologi merupakan faktor utama yang mengatur konsentrasi zat-zat. Sebagai contoh Oksigen terlarut dan karbon dioksida bebas dalam air kolam dipengaruhi oleh jumlah fotosintesis dan respirasi

8.1. Oksigen

Oksigen atau zat asam adalah unsur kimia dalam sistem tabel periodik yang mempunyai lambang "O" dan nomor atom 8. Oksigen merupakan unsur golongan kalkogen dan dapat dengan mudah bereaksi dengan hampir semua unsur lainnya (utamanya menjadi oksida). Pada Temperatur dan tekanan standar, dua atom unsur ini berikatan menjadi dioksigen, yaitu senyawa gas diatomik dengan rumus O_2 yang tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau. Oksigen merupakan unsur paling melimpah ketiga di alam semesta berdasarkan massa dan unsur paling melimpah di kerak Bumi. Gas oksigen diatomik mengisi 20,9% volume atmosfer bumi.

Semua kelompok molekul struktural yang terdapat pada organisme hidup seperti: protein, karbohidrat, dan lemak, mengandung oksigen. Demikian pula senyawa anorganik yang terdapat pada

cangkang, gigi, dan tulang hewan. Oksigen dalam bentuk O_2 dihasilkan dari air oleh sianobakteri ganggang, dan tumbuhan selama fotosintesis, dan digunakan pada respirasi sel oleh hampir semua makhluk hidup. Oksigen beracun bagi organisme anaerob, yang merupakan bentuk kehidupan paling dominan pada masa-masa awal evolusi kehidupan. O_2 kemudian mulai berakumulasi pada atmosfer sekitar 2,5 miliar tahun yang lalu. Terdapat pula allotrop oksigen lainnya, yaitu ozon (O_3). Lapisan ozon pada atmosfer membantu melindungi biosfer dari radiasi ultra violet, namun pada permukaan bumi ia adalah polutan yang merupakan produk samping dari asbut.

Oksigen merupakan unsur yang sangat berperan dalam proses kehidupan dan penghidupan yang normal di dunia ini. Tanpa oksigen proses respirasi dari organisme tidak akan berjalan, sehingga tentunya akan diikuti oleh kematian. Begitu pula bahan bakar tidak akan terbakar, logam tidak akan berkarat dan yang penting lagi zat-zat organik tidak akan terurai atau mengalami pembusukan tanpa adanya oksigen (TIMM 1966).

Oksigen terlarut adalah jumlah milligram mol oksigen per liter atau konsentrasi kelarutan O_2 dalam air. Kandungan oksigen terlarut dalam air sangat penting bagi kehidupan dan penyebaran hewan dan tumbuhan air yang hidup didalamnya. Kandungan oksigen rendah hanya didominasi oleh beberapa spesies saja. Spesies-spesies tertentu dari kelompok makrozoobentos mempunyai tingkat penyesuaian yang berbeda terhadap oksigen terlarut dan ada kelompok spesies yang dapat bertahan dalam kurun waktu yang terbatas, yaitu bila konsentrasi oksigen terlarut mencapai 1 mg/l. DO adalah jumlah oksigen yang terlarut di dalam air. Maksimum oksigen yang terlarut di dalam air dikenal dengan "oksigen jenuh". Oksigen masuk

ke dalam air ketika permukaan air bergolak dan berasal dari proses fotosintesis. Peningkatan salinitas dan suhu air akan menurunkan tingkat oksigen jenuh di dalam air. Air yang mengandung oksigen jenuh cukup untuk mendukung kehidupan organisme air, tetapi oksigen akan cepat habis bila organisme di perairan dalam jumlah yang padat. Tingkat oksigen terlarut dipengaruhi oleh suhu, salinitas dan ketinggian dari permukaan laut (dpl). Salinitas, suhu, dan ketinggian dpl meningkat maka oksigen terlarut akan menurun. Oksigen terlarut di air laut lebih rendah dibanding dengan air tawar. Faktor biologi yang mempengaruhi jumlah oksigen terlarut di dalam air adalah proses respirasi dan fotosintesis. Respirasi mengurangi oksigen di dalam air sedangkan fotosintesis menambah oksigen ke dalam air. Dari sisi lain oksigen terlarut akan berkurang akibat organisme aerobik yang menghancurkan bahan organik di dalam air dan oleh respirasi berbagai organisme yang ada di dalam air. Oksigen terlarut biasanya diukur dengan menggunakan DO-meter. Alat ini terbagi menjadi dua, yakni DO-meter manual, dan DO-meter digital.



Gambar 6 Alat mengukur Oksigen

Oksigen dan karbondioksida merupakan dua bahan penting dalam metabolisme jasad di perairan. Jika suatu perbedaan kimia terjadi secara biogenik maka penyebaran kedua unsur berlawanan. Hal ini menunjukkan bahwa adanya stratifikasi karbon dioksida. Jika kadar CO_2 berkurang oleh proses fotosintesis maka kadar oksigen terlarut bertambah. Sebaliknya pada waktu proses oksidasi perombakan mengurangi oksidasi di daerah trofistik, daerah ini diperkaya dengan karbon dioksida. Selain itu pada malam hari atau cuaca berawan, oksigen hilang karena perombakan dan pernafasan.

Oksigen terlarut sangat penting untuk respirasi metabolisme sebagian besar organisme perairan. Dinamika penyebaran oksigen di danau dipengaruhi oleh keseimbangan antara masukan dari atmosfer dan fotosintesis, serta hilangnya oksigen karena oksidasi biotik dan kimia. Penyebaran oksigen penting untuk kebutuhan langsung berbagai organisme. Mempengaruhi kelarutan dan ketersediaan unsur hara. Oleh karena itu, akan mempengaruhi produktivitas ekosistem perairan.

Kelarutan oksigen menurun dengan meningkatnya suhu. Kelarutan oksigen sedikit menurun dengan tekanan atmosfer yang lebih rendah di daerah *altitude* yang lebih tinggi, dan meningkat pada tekanan hidrostatik yang lebih besar di lapisan perairan danau bagian dalam. Kelarutan oksigen meningkat secara eksponensial dengan meningkatnya kandungan garam. Karena difusi oksigen dari atmosfer ke dalam air dan di dalam air itu sendiri merupakan proses yang relatif lambat, pencampuran turbulen diperlukan sebagai penyebar oksigen terlarut, supaya berada dalam keseimbangan dengan oksigen di atmosfer. Selanjutnya penyebaran oksigen di air dari danau-danau berstratifikasi panas dikendalikan oleh kombinasi kondisi larutan,

hidrodinamika, masukan dari fotosintesis, dan kehilangan untuk oksidasi metabolis dan kimia.

Oksigen sangat dibutuhkan untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan reproduksi, dan Oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik.

Sumber oksigen diperairan yaitu: (1) Diffusi oksigen dari udara ke dalam air melalui permukaan air. Karena adanya gerakan molekul-molekul udara yang berbenturan dengan molekul air sehingga O_2 terikat didalam air. Kecepatan difusi oksigen dari udara, tergantung beberapa faktor : kekeruhan air, suhu, salinitas, pergerakan massa air dan udara seperti arus, gelombang dan pasang surut; (2) Adanya aliran air masuk, mengakibatkan gerakan air yang mampu mendorong terjadinya proses difusi oksigen dari udara ke dalam air; (3) Hujan yang jatuh secara tidak langsung akan meningkatkan O_2 di dalam air. Suhu air akan turun, sehingga kemampuan air mengikat oksigen meningkat, selanjutnya bila volume air bertambah dari gerakan air, akibat jatuhnya air hujan akan mampu meningkatkan O_2 di dalam air.; (4) Proses asimilasi/fotosintesis plankton dan tumbuhan air. Tanaman air di waktu siang akan melakukan proses fotosintesis/asimilasi sehingga akan menambah O_2 didalam air. Sedangkan pada malam hari tanaman tersebut menggunakan O_2 yang ada didalam air digunakan untuk pernafasan biota dan penguraian bahan organik.

Pengurangan oksigen dalam badan air disebabkan oleh (1) pernafasan biota; (2) penguraian bahan organik; (3) Masuknya air bawah tanah yang miskin Oksigen; (4). Adanya zat besi; (5). Kenaikan suhu; (6) Penurunan oksigen terbesar terjadi pada saat gabungan dari sebab-sebab tersebut terjadi secara serentak

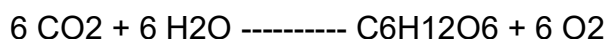
Nilai DO biasanya diukur dalam bentuk konsentrasi ini menunjukkan jumlah oksigen yang tersedia dalam suatu badan air. Semakin rendah nilai DO pada air, maka air tersebut diindikasikan telah tercemar. Pengukuran DO juga bertujuan melihat sejauh mana badan air mampu menampung biota air seperti ikan dan mikroorganisme.

Penyebab utama berkurangnya kadar oksigen terlarut dalam air disebabkan karena adanya zat pencemar yang dapat mengkonsumsi oksigen. Zat pencemar tersebut terutama terdiri dari bahan-bahan organik dan anorganik yang berasal dari berbagai sumber, seperti kotoran (hewan dan manusia), sampah organik, bahan-bahan buangan dari industri dan rumah tangga.

Banyaknya oksigen yang terlarut dalam air bergantung pada:

- (1) Tekanan yang terdapat pada air, semakin besar tekanan gas oksigen terhadap permukaan air, semakin besar oksigen yang larut dalam air (berbanding lurus);
- (2) Suhu pada air, semakin dingin suhu air, semakin besar oksigen yang larut dalam air (berbanding terbalik);
- (3) Jumlah mineral yang larut dalam air, semakin besar mineral yang terkandung dalam air semakin kecil oksigen yang larut dalam air (berbanding terbalik).

Sebagian besar oksigen pada perairan danau dan waduk merupakan hasil sampingan aktivitas fotosintesis. Pada proses fotosintesis, karbondioksida direduksi menjadi karbohidrat dan air mengalami dehidrogenasi menjadi oksigen.



Di perairan danau, oksigen lebih banyak dihasilkan oleh fotosintesis alga yang banyak terdapat pada zone epilimnion, sedangkan pada perairan tergenang yang dangkal dan banyak

ditumbuhi tanaman air pada zone litoral, keberadaan oksigen lebih banyak dihasilkan oleh aktivitas fotosintesis tanaman air.

Keperluan organisme terhadap oksigen relatif bervariasi tergantung pada jenis, stadium dan aktifitasnya. Kandungan oksigen terlarut (DO) minimum adalah 2 ppm dalam keadaan normal dan tidak tercemar oleh senyawa beracun (toksik). Kandungan oksigen terlarut minimum ini sudah cukup mendukung kehidupan organisme. Idealnya, kandungan oksigen terlarut tidak boleh kurang dari 1,7 ppm selama waktu 8 jam dengan sedikitnya pada tingkat kejenuhan sebesar 70 %. KLH menetapkan bahwa kandungan oksigen terlarut adalah 5 ppm untuk kepentingan wisata bahari dan biota laut.

Oksigen memegang peranan penting sebagai indikator kualitas perairan, karena oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik. Dalam kondisi aerobik, peranan oksigen adalah untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dengan hasil akhirnya adalah nutrisi yang pada akhirnya dapat memberikan kesuburan perairan. Karena proses oksidasi dan reduksi inilah maka peranan oksigen terlarut sangat penting untuk membantu mengurangi beban pencemaran pada perairan secara alami maupun secara perlakuan aerobik yang ditujukan untuk memurnikan air buangan industri dan rumah tangga.

Proses perombakan bahan organik memerlukan oksigen sehingga konsentrasi oksigen dalam perairan akan menurun. Perombakan sisa pakan udang dengan kandungan protein yang tinggi akan meningkatkan jumlah amonia dalam perairan. Penurunan jumlah oksigen dan peningkatan konsentrasi amonia merupakan ancaman berbahaya bagi hewan akuatik. Konsentrasi oksigen rendah akan

meningkatkan kecepatan respirasi, menurunkan efisiensi respirasi dan pertumbuhan yang dapat berakibat pada kematian masal.

Pada siang hari, ketika terjadi fotosintesis, jumlah oksigen terlarut cukup banyak. Sebaliknya pada malam hari, ketika tidak terjadi fotosintesis, oksigen yang terbentuk selama siang hari akan dipergunakan oleh ikan dan tumbuhan air, sehingga sering terjadi penurunan konsentrasi oksigen secara drastis. Kelarutan oksigen di dalam air juga terkait dengan suhu. Antara oksigen dengan suhu adalah berbanding terbalik. Pada temperatur yang tinggi juga dapat meningkatkan kehilangan oksigen karena penguapan. Jika suhu sangat tinggi, maka kelarutan jumlah oksigen menurun, begitu juga sebaliknya.

Konsentrasi oksigen terlarut dalam perairan bergantung pada variasi dari temperatur. Oksigen merupakan salah satu faktor pembatas, sehingga jika ketersediaannya dalam air tidak mencukupi kebutuhan ikan, maka segala aktivitas dan proses pertumbuhan ikan akan terganggu, bahkan akan mengalami kematian. Kebutuhan Oksigen mempunyai dua aspek yaitu kebutuhan lingkungan bagi spesies tertentu dan kebutuhan konsumtif yang bergantung pada keadaan metabolisme ikan.

Keseimbangan oksigen terlarut dalam air secara alamiah terjadi secara berkesinambungan. Mikroorganisme sebagai makhluk terkecil dalam air, untuk pertumbuhannya membutuhkan sumber energi yaitu unsur karbon yang dapat diperoleh dari bahan organik yang berasal dari tanaman, ganggang yang mati, maupun oksigen yang berdifusi dari udara. Bahan organik tersebut oleh mikroorganisme akan diuraikan menjadi karbondioksida dan air. Karbondioksida selanjutnya

dimanfaatkan oleh tanaman dalam air untuk proses fotosintesis membentuk oksigen

Oksigen dimanfaatkan untuk proses penguraian bahan organik tersebut akan diganti oleh oksigen yang masuk dari udara maupun dari sumber lainnya secepat habisnya oksigen terlarut yang digunakan oleh bakteri. Oksigen yang diambil oleh biota air selalu setimbang dengan oksigen yang masuk dari udara maupun dari hasil fotosintesa tanaman air. Oksigen memiliki peranan penting dalam menguraikan komponen–komponen kimia menjadi komponen yang lebih sederhana. Oksigen memiliki kemampuan untuk beroksidasi dengan zat pencemar seperti komponen organik sehingga zat pencemar tersebut tidak berbahaya bagi lingkungan.

Pencemaran air yang berlebihan akan menyebabkan oksigen terlarut dalam air pada kondisi yang kritis, atau merusak kadar kimia air. Rusaknya kadar kimia air tersebut akan berpengaruh terhadap fungsi dari air. Besarnya beban pencemaran yang ditampung oleh suatu perairan, dapat diperhitungkan berdasarkan jumlah polutan yang berasal dari berbagai sumber aktifitas air buangan dari proses-proses industri dan buangan domestik yang berasal dari penduduk.

DO atau oksigen terlarut merupakan jumlah gas O_2 yang diikat oleh molekul air. Kelarutan O_2 di dalam air terutama sangat dipengaruhi oleh suhu dan mineral terlarut dalam air. Kelarutan maksimum oksigen dalam air terdapat pada suhu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, yaitu sebesar $14,16\text{ mg/l}$, konsentrasi ini akan menurun seiring peningkatan ataupun penurunan suhu

Di danau-danau oligotrof yang tidak produktif dan berstratifikasi panas ketika musim panas, kandungan oksigen menurun di epilimnion sejalan dengan meningkatnya suhu. Kandungan oksigen di

hipolimnion lebih tinggi dari epilimnion, karena air yang lebih dingin dari pusaran musim semi yang jenuh terbuka terhadap konsumsi oksidatif yang terbatas. Distribusi vertikal tersebut dinamakan *profil oksigen orthograde*.

Pada danau-danau eutrofik, muatan bahan organik di hipolimnion dan sedimen akan meningkatkan penggunaan oksigen terlarut. Sebagai akibatnya, kandungan oksigen di hipolimnion menurun tajam selama periode stratifikasi musim panas, biasanya sangat cepat pada bagian terdalam dari cekungan danau. Di bagian terdalam tersebut, antara volume yang mengecil dihadapkan pada laju dekomposisi yang lebih intensif di permukaan sedimen. Distribusi vertikal oksigen yang terjadi dinamakan *profil oksigen climograde*. Kejenuhan oksigen yang ada menyebar ke seluruh strata air selama sirkulasi musim gugur.

Pertukaran oksigen dengan atmosfer terhenti dalam berbagai kegiatan dengan terbentuknya formasi es. Pada danau-danau produktif, kandungan oksigen dan tingkat kejenuhannya menurun dengan bertambahnya kedalaman, tetapi tidak seluas seperti yang diamati selama stratifikasi musim panas. Hal ini karena teratasnya oleh suhu air yang lebih dingin (keterlarutan lebih besar; respirasi menurun).

Oksigen maksimum metalimnetik sering teramati, yaitu ketika kandungan oksigen di metalimnion jauh lebih besar dan sering jenuh dibandingkan dengan epilimnion dan hipolimnion, maka terbentuk kurva oksigen heterograde positif. Hal ini disebabkan produksi oksigen fotosintesis alga melebihi konsumsi oksidatifnya di metalimnion.

Oksigen minimum metalimnetik; menghasilkan kurva oksigen heterograde negative walaupun tidak umum terjadi. Keadaan ini

merupakan hasil kombinasi mekanis yang sangat sering, oksidasi selama dekomposisi melebihi masukan oksigen. Lalu sedimentasi bahan organik dari epilimnion menurun ketika menemui lapisan metalimnion oleh populasi mikrokrustase yang padat dapat pula menunjang hilangnya oksigen di strata ini.

Distribusi *clinograde* oksigen yang ekstrim terjadi di danau-danau meromiktik, dengan monimolimnionnya yang anoksik secara permanen. Kandungan oksigen secara horizontal dapat bervariasi secara luas, terutama di danau-danau dengan produksi oksigen fotosintesis tumbuhan littoral melebihi yang terjadi oleh alga di perairan terbuka. Pembusukan yang cepat tumbuhan littoral yang padat atau fitoplankton, menimbulkan penurunan oksigen dengan nyata di danau-danau kecil dan dangkal sampai dapat mematikan hewan-hewan dikenal sebagai summerkill (kematian musim panas).

Distribusi oksigen di waduk-waduk dapat bervariasi luas berdasarkan periode tahunan. Hal ini dihubungkan dengan perbedaan muatan organik dari aliran air yang masuk, produktivitas perairan terbuka, dan bahan buangan dari cekungan. Di bawah penutupan es dan salju, cahaya sangat menurun, peningkatan kandungan oksigen dari fotosintesis tidak terjadi. Sedangkan konsumsi respirasi oksidatif dapat menurunkan oksigen sampai tingkat yang tidak mencukupi untuk mendukung organisme, akibatnya terjadi kematian musim dingin (*winterkill*). kondisi tersebut pada umumnya terjadi di danau-danau wilayah pertengahan yang produktif dan dangkal.

Di danau-danau produktif, konsentrasi oksigen epilimnetik dapat bervariasi dalam seharinya. Pada siang hari terjadi peningkatan fotosintesis dan pada malam hari konsumsi respirasi dapat melebihi pertukaran turbulen dengan atmosfer. Sebagai akibatnya terjadi

fluktuasi yang cepat (dalam satuan jam) antara lewat jenuh dan di bawah jenuh.

Laju volumetrik menghilangnya oksigen dari hipolimnion selama stratifikasi musim panas; defisit oksigen relatif wilayah hipolimnetik (*relative areal hypolimnetic oxygen deficit*); telah digunakan sebagai suatu indeks pendekatan produktivitas danau-danau dimictic. Metode ini mengasumsikan bahwa produksi bahan organik di wilayah trofogenik digambarkan di dalam konsumsi oksigen yang terjadi di hipolimnion. Karena hal ini merupakan penentuan secara sederhana, defisit oksigen sering digunakan secara tidak kritis. Analisis yang lebih baru menunjukkan bahwa perbedaan di dalam suhu dan volume (ketebalan) hipolimnion harus dipertimbangkan dalam memperbandingkan diantara danau-danau. Analisis empirik yang menggunakan data terbatas menunjukkan korelasi positif antara defisit oksigen hipolimnetik dengan produktivitas primer alga fitoplankton, kandungan fosfor di air, suhu rata-rata musim panas hipolimnetik, dan ketebalan hipolimnetik. Suatu korelasi negatif terjadi dengan tingkat kecerahan (kedalaman keeping sechi). Selayaknya dan dengan hati-hati, defisit oksigen wilayah hipolimnetik dapat membantu untuk membandingkan produktivitas –secara pendekatan- danau-danau besar, dalam, dan dimictic dari danau-danau produktivitas rendah sampai sedang, jika muatan allochthonous bahan organik cukup kecil.

Sumber terpenting oksigen adalah atmosfer dan hasil samping proses fotosintesa tumbuhan air. Penambahan kandungan oksigen perairan darat hanya berlangsung pada lapisan-lapisan air permukaan melalui absorpsi atau proses difusi dari atmosfer dan proses fotosintesa. Produksi oksigen oleh proses fotosintesa dapat melebihi kandungan oksigen dalam atmosfer sebagai akibat berlangsungnya

proses fotosintesis yang sangat intensif. Nilai-nilai kadar oksigen dalam hal ini mencapai nilai-nilai lebih besar 100% dari kadar jenuh.

Oksigen merupakan salah satu gas yang terlarut dalam air, di perairan kadar oksigen yang larut sangat bervariasi ini disebabkan dari faktor suhu, salinitas, turbulensi air dan tekanan atmosfer. Apabila suhu dan ketinggian (altitude) besar dan tekanan atmosfer kecil maka oksigen terlarut semakin kecil kadarnya. Kadar oksigen terlarut dipengaruhi juga dengan kegiatan fotosintesis, dekomposisi bahan organik dan oksidasi bahan anorganik. Tanaman air yang memerlukan CO_2 dalam proses fotosintesis yang kemudian akan menghasilkan oksigen namun dalam kegiatan dekomposisi dan oksidasi kadar oksigen yang terlarut dapat berkurang (Effendi, 2003).

Faktor-faktor yang menentukan kadar oksigen di danau terutama pada lapisan hypolimnion adalah: a) Bahan organik yang mengalami proses perombakan, b) Suhu, c) Profil dasar danau terutama kedalamannya, d) Kecepatan jatuh sisa-sisa bahan organik ke dasar perairan danau. Alat untuk mengukur oksigen sebagaimana disajikan pada Gambar 6



Gambar 6. Alat mengukur Oksigen

Oksigen terlarut (*dissolved oxygen*, disingkat DO) atau sering juga disebut dengan kebutuhan oksigen (*Oxygen demand*) merupakan salah satu parameter penting dalam analisis kualitas air. Nilai DO yang biasanya diukur dalam bentuk konsentrasi ini menunjukkan jumlah oksigen (O_2) yang tersedia dalam suatu badan air. Semakin besar nilai DO pada air, mengindikasikan air tersebut memiliki kualitas yang bagus. Sebaliknya jika nilai DO rendah, dapat diketahui bahwa air tersebut telah tercemar. Pengukuran DO juga bertujuan melihat sejauh mana badan air mampu menampung biota air seperti ikan dan mikroorganisme. Selain itu kemampuan air untuk membersihkan pencemaran juga ditentukan oleh banyaknya oksigen dalam air. Oleh sebab pengukuran parameter ini sangat dianjurkan.

Metode yang digunakan dalam pengukuran kadar oksigen terlarut adalah: 1) Mengambil sampel air dengan menggunakan botol BOD 125 ml (tidak boleh ada udara yang masuk), 2) Kemudian menambahkan 1 ml $MnSO_4$ dan 1 ml $NaOH$ dalam KI, 3) Tutup botol tersebut dan kocok hingga larutan homogen dan terjadi endapan. 4) Langkah selanjutnya menambahkan 1 ml H_2SO_4 pekat kemudian menutup botol BOD, 5) kocok sampai endapan hilang dan larutan berwarna kuning, 6) setelah itu memasukkan 50 ml sampel ke dalam erlenmeyer 250 ml,. 7) Melakukan titrasi dengan 0,025 N $Na_2S_2O_3$ hingga larutan berwarna kuning muda, 8) Menambahkan 2 tetes amilum, apabila timbul warna biru kemudian, 9) Melanjutkannya dengan titrasi $Na_2S_2O_3$ 0,025 N hingga bening.

Untuk mengetahui berapa jumlah volume titran dengan membaca skala penurunan titran dan memasukkan dalam rumus :

$$DO \text{ (mg/l)} = \frac{\text{ml titran} \times N \text{ titran} \times 8 \times 1000}{\text{ml sampel}}$$

Titration merupakan salah satu teknik analisis kimia kuantitatif yang dipergunakan untuk menentukan konsentrasi suatu larutan tertentu, dimana penentuannya menggunakan suatu larutan standar yang sudah diketahui konsentrasinya secara tepat. Pengukuran volume dalam titration memegang peranan yang amat penting sehingga ada kalanya sampai saat ini banyak orang yang menyebut titration dengan nama analisis volumetri.

Larutan yang dipergunakan untuk penentuan larutan yang tidak diketahui konsentrasinya diletakkan di dalam buret dan larutan ini disebut sebagai larutan standar atau titran atau titrator, sedangkan larutan yang tidak diketahui konsentrasinya diletakkan di Erlenmeyer dan larutan ini disebut sebagai analit.

Titran ditambahkan sedikit demi sedikit pada analit sampai diperoleh keadaan di mana titran bereaksi secara ekuivalen dengan analit, artinya semua titran habis bereaksi dengan analit keadaan ini disebut sebagai titik ekuivalen.

Titik ekuivalen dapat ditentukan dengan berbagai macam cara, cara yang umum adalah dengan menggunakan indikator. Indikator akan berubah warna dengan adanya penambahan sedikit mungkin titran, dengan cara ini maka kita dapat langsung menghentikan proses titration.

Sebagai contoh titration H_2SO_4 dengan $NaOH$ digunakan indikator fenolphthalein (pp). Bila semua larutan H_2SO_4 telah habis bereaksi dengan $NaOH$ maka adanya penambahan sedikit mungkin

NaOH larutan akan berubah warna menjadi merah mudah. Bila telah terjadi hal yang demikian maka titrasi pun kita hentikan.

Keadaan di mana titrasi dihentikan dengan adanya perubahan warna indikator disebut sebagai titik akhir titrasi. Titrasi yang bagus memiliki titik ekuivalent yang berdekatan dengan titik akhir titrasi dan kalau bisa sama. Perhitungan titrasi didasarkan pada rumus:

$$\mathbf{V.N \text{ titran} = V.N \text{ analit}}$$

Dimana: V adalah volume dan N adalah normalitas.

Kebutuhan oksigen untuk tiap jenis biota air berbeda-beda, tergantung dari jenisnya dan kemampuan untuk mentolerir naik turunnya oksigen. Pada umumnya semua biota yang dibudidayakan tidak mampu mentolerir perubahan oksigen yang mendadak. Kadar oksigen terlarut pada perairan alami biasanya kurang dari 10 mg/liter. Oksigen terlarut dalam air 5-6 ppm dianggap paling ideal untuk tumbuh dan berkembangbiak ikan, plankton, dan tanaman air (Gufran, 2004). Oksigen merupakan faktor penting bagi kehidupan makro dan mikro organisme perairan karena diperlukan untuk proses pernafasan. Di perairan tawar, kadar oksigen terlarut berkisar antara 15 mg/l pada suhu 0 °C dan 8 mg/l pada suhu 25 °C kadar oksigen yang terlarut dalam perairan alami bervariasi, tergantung pada suhu, salinitas, turbulensi air, dan tekanan atmosfer. Semakin besar suhu dan ketinggian (altitude) serta semakin kecil tekanan atmosfer, kadar oksigen terlarut semakin kecil. Kadar oksigen juga berfluktuasi secara harian (*diurnal*) dan musiman, tergantung pada pencampuran (*mixing*) dan pergerakan (*turbulence*) massa air, aktivitas fotosintesis, respirasi, dan limbah (*effluent*) yang masuk ke badan air (Effendi, 2003).

Rendahnya O_2 dalam air menyebabkan ikan atau hewan air memompa sejumlah besar CO_2 menuju ke alat respirasinya untuk mengambil O_2 yang terkandung dalam air. O_2 yang rendah dapat mencegah ikan untuk menggunakan alat pernapasan di bagian permukaan karena dapat merubah osmoregulasi yang telah tersusun (Fujaya, 2004).

Besarnya kandungan oksigen yang perlu dipertahankan untuk menjamin kehidupan ikan yang baik adalah tidak kurang dari 3 ppm. Jika kandungan oksigen turun menjadi kurang dari 2 ppm, beberapa jenis biota yang hidup di perairan akan mengalami kematian (Susanto, 1987).

Suatu perairan dapat mendukung kehidupan ikan dengan layak dan kegiatan perikanan berhasil, maka kandungan O_2 terlarutnya tidak kurang dari 4 mg/L (NTAC, 1968). Menurut Swingle (1968) dan Pescod (1973) kandungan O_2 terlarut minimal 2 mg/l sudah cukup mendukung kehidupan organisme perairan secara normal jika tidak ada senyawa lain yang bersifat racun. Oksigen terlarut air waduk Sermo berkisar antara 1,00-12,20 ppm (rata-rata 5,69 ppm). Hasil penelitian Triyatmo (2001) di waduk sermo memperlihatkan kondisi kandungan O_2 terlarut air Waduk Sermo semakin ke dalam semakin turun hingga mencapai DO tetap (rata-rata mencapai 3,80 ppm). Perairan Waduk Sermo mempunyai kandungan O_2 terlarut yang cukup baik untuk mendukung kehidupan ikan dan jasad-jasad makanannya.

8.2. Karbondioksida

Karbon dioksida (CO_2) sangat larut dalam air, namun dalam atmosfer relatif sedikit (0,033%) dan konsentrasi CO_2 ekuilibrium dalam air murni (H_2O) sedikit.

Karbon dioksida dalam air dapat berasal dari pengikatan langsung dari udara bebas, dan melalui proses respirasi organisme. CO_2 dalam air meskipun sangat mudah larut dalam air tetapi umumnya berada dalam keadaan terikat dengan air membentuk asam karbonat (H_2CO_3) • Karbon dioksida dalam perairan sangat dibutuhkan terutama oleh tumbuh-tumbuhan air termasuk algae untuk fotosintesis.

Ada perbedaan mendasar antara fotosintesis yang berlangsung pada tumbuhan akuatik dengan fotosintesis tumbuhan terrestrial. Sumber karbon dioksida yang dibutuhkan pada proses fotosintesis tumbuhan terrestrial sepenuhnya langsung diambil dari atmosfer, sementara proses fotosintesis dalam lingkungan akuatik tergantung pada sumber karbon dioksida yang terlarut dalam air.

Karbon dioksida sangat mudah larut dalam air, namun hanya sedikit yang berada dalam larutan biasa karena jumlahnya dalam udara atmosfer sangat sedikit. Selain itu dekomposisi bahan organik dan pernafasan tumbuhan dan hewan memberi sumbangan pada karbon dioksida yang sudah ada. Pergerakan air melalui vegetasi dan tanah mengambil karbon dioksida yang lepas dari udara tanah. Karbon dioksida bergabung secara kimiawi dengan air membentuk asam karbonat yang mempengaruhi pH air.

Asam karbovat sebagian menghasilkan ion-ion hidrogen dan bikarbonat. Ion bikarbonat terurai lebih lanjut membentuk lebih banyak ion hidrogen serta ion karbonat. Lazimnya terdapat sekitar 0,5 ml/l karbon dioksida dalam air dalam bentuk larutan biasa, yang disebut sebagai karbon dioksida bebas. Sejumlah besar karbon dioksida berada dalam bentuk bikarbonat dan karbonat yang dikenal sebagai karbon dioksida gabungan, tetap atau terikat. Air dengan pH rendah, gabungan karbon dioksida diubah menjadi bentuk bebas

Mendekati pH netral, hampir semua karbondioksida berada sebagai karbonat. Jadi dengan bertambahnya anion-anion bikarbonat dan karbonat, air cenderung menjadi bersifat basa dan cenderung menahan perubahan ion hidrogen, ini disebut tindakan penyangga dan menyebabkan fluktuasi pH yang umum dalam sistem air tawar.. engan demikian kebiasaan air alam dapat didefinisikan sebagai jumlah ion bikarbonat dan karbonat yang ada dalam larutan.

Karbondioksida, pH dan kebiasaan saling berhubungan langsung, karena pH bergantung pada karbondioksida bebas dan tingkat bikarbonat. Fotosintesis tumbuhan air, agitasi air dan Penyerapan menyebabkan hilangnya CO₂ dari badan air. Sering kali CO₂ bebas terkumpul dalam jumlah besar pada dasar kolam dan danau, Sehubungan dengan penguraian bahan organik. Kelebihan gas demikian akan naik ke permukaan sebagai gelembung dan gas hilang ke udara.

Sumber CO₂ di dalam perairan bersumber dari: (1) Difusi dari atmosfer. Karbondioksida yang terdapat di atmosfer mengalami difusi secara langsung ke dalam air; (2) Air hujan. Air hujan jatuh ke permukaan bumi seara teoritis memiliki kandungan karbondioksida sebesar 0,55-0,60 mg/L, berasal dari karbondioksida yang terdapat di atmosfer; (3) Air yang melewati tanah organik. Tanah organik yang mengalami dekomposisi mengandung relative banyak karbondioksida sebagai hasil proses dekomposisi. Karbondioksida hasil dekomposisi ini akan larut ke dalam air; (4) Respirasi tumbuhan, hewan dan bakteri aerob maupun anaerob. Respirasi tumbuhan dan hewan mengeluarkan karbondioksida. Dekomposisi bahan organik pada kondisi aerob menghasilkan karbondioksida sebagai salah satu produk akhir.

Dekomposisi anaerob karbohidrat pada bagian dasar perairan akan menghasilkan karbondioksida sebagai produk akhir. Karbondioksida dari udara selalu bertukar dengan yang di air jika air dan udara bersentuhan. Pada air yang tenang pertukaran ini sedikit, proses yang terjadi adalah difusi. Jika air bergelombang maka pertukaran berubah lebih cepat. Gelombang dapat terjadi jika air di permukaan berpusar menuju ke bagian dasar danau, sambil membawa gas yang terlarut. Karbondioksida juga terdapat dalam air hujan. hal ini terbawa waktu tetes air terjun dari udara.

Karbondioksida agresif

Karbondioksida (CO_2) agresif adalah CO_2 dalam air yang dapat bereaksi dengan marmer (CaCO_3), dapat melarutkan logam dalam pipa logam. Karbondioksida (CO_2) merupakan salah satu gas yang terdapat dalam air. Berdasarkan bentuk dari gas Karbondioksida (CO_2) di dalam air, CO_2 dibedakan menjadi : CO_2 bebas yaitu CO_2 yang larut dalam air, CO_2 dalam kesetimbangan, CO_2 agresif. Dari ketiga bentuk Karbondioksida (CO_2) yang terdapat dalam air, CO_2 agresif-lah yang paling berbahaya karena kadar CO_2 agresif lebih tinggi dan dapat menyebabkan terjadinya korosi sehingga berakibat kerusakan pada logam – logam dan beton

Karbondioksida Bebas

Kandungan karbondioksida bebas (CO_2) dalam suatu perairan maksimal 20 ppm. Kandungan karbondioksida bebas (CO_2) pada suatu perairan melebihi 20 ppm, maka membahayakan biota laut bahkan meracuni kehidupan organisme perairan. Kandungan karbondioksida bebas dalam suatu perairan lebih tinggi dari 12 ppm

dapat membahayakan kehidupan organism perairan, dapat di asumsikan bahwa bila dalam suatu perairan kadar karbondioksida berlebihan dapat berdampak kritis bagi kehidupan binatang air

Karbondioksida bebas (CO_2) merupakan salah satu gas respirasi yang penting bagi system perairan, kandungan karbondioksida bebas di pengaruhi oleh kandungan bahan organik terurai, suhu, pH, dan aktivitas fotosintesis. Sumber CO_2 bebas berasal dari proses perombakan bahan organik oleh jasad renik dan respirasi organisme. Karbondioksida bebas dalam perairan berasal dari hasil penguraian bahan-bahan organik oleh bakteri dekomposer atau mikroorganisme. Naiknya CO_2 selalu di iringi oleh turunnya kadar O_2 terlarut yang diperlukan bagi pernapasan hewan-hewan air

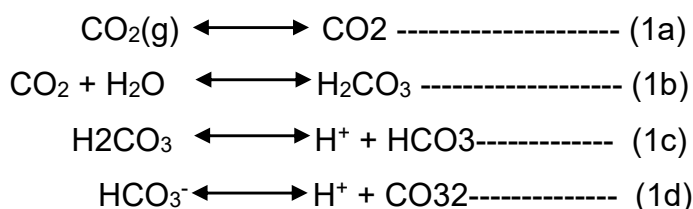
Dengan demikian walaupun CO_2 belum mencapai kadar tinggi yang mematikan, hewan-hewan air sudah mati karena kekurangan O_2 . • Kadar CO_2 yang dikehendaki oleh ikan adalah tidak lebih dari 12 ppm dengan kandungan O_2 terendah adalah 2 ppm. Istilah karbondioksida bebas digunakan untuk menjelaskan CO_2 yang terlarut dalam air, selain yang berada dalam bentuk terikat sebagai ion bikarbonat (HCO_3^-) dan ion karbonat (CO_3^{2-}). Karbondioksida bebas (CO_2) bebas menggambarkan keberadaan gas CO_2 di perairan yang membentuk keseimbangan dengan CO_2 di atmosfer

Nilai CO_2 yang terukur biasanya berupa CO_2 bebas. Perairan tawar alami hampir tidak memiliki pH >9 sehingga tidak ditemukan karbon dalam bentuk karbonat. Pada air tanah, kandungan karbonat biasanya sekitar 10 mg/l karena sifat tanah yang cenderung alkalis. • Perairan yang memiliki kadar sodium tinggi mengandung karbonat sekitar 50 mg/l. • Perairan tawar alami yang memiliki pH 7-8 biasanya mengandung ion karbonat <500 mg/l dan hampir tidak pernah kurang

dari 25 mg/l. Ion ini mendominasi sekitar 60 -90% bentuk karbon organik total di perairan

Kadar karbon di perairan dapat mengalami penurunan bahkan hilang akibat proses fotosintesis , evaporasi dan agitasi air. Perairan yang di peruntukan untuk kepentingan perikanan sebaiknya mengandung kadar karbondioksida bebas <5 mg/l. Kadar karbondioksida sebesar 10 mg/l masih dapat ditolerir oleh organisme akuatik, asal disertai oksigen yang cukup. Sebagian besar organisme akuatik dapat bertahan hidup hingga kadar karbondioksida bebas mencapai sebesar 60 mg/l

Proses pelarutan CO₂ di air melalui beberapa tahap mekanisme reaksi yang melibatkan gas dan CO₂ terlarut, asam karbonat (H₂CO₃), ion bikarbonat (HCO₃⁻) dan ion karbonat (CO₃²⁻). Sebagaimana diketahui, ketiga bentuk diatas dan termasuk juga CO₂ merupakan penyebab utama dari alkalinitas air. Alkalinitas sendiri dapat didefinisikan sebagai kemampuan menetralkan asam.



Berdasarkan tahapan reaksi di atas jelas terlihat bahwa karbon dioksida dan tiga bentuk terlarutnya merupakan bagian dari suatu sistem yang memiliki kesetimbangan karena melibatkan ion HCO₃⁻. Perubahan konsentrasi dari salah satu komponen dari sistem tersebut akan menyebabkan pergeseran kesetimbangan, merubah konsentrasi ion-ion yang lain dan akhirnya mengakibatkan perubahan pH. Sebaliknya, perubahan pH dapat pula mempengaruhi kesetimbangan sistem tersebut. Gambar 2.4 menunjukkan hubungan antara karbon

dioksida dan tiga bentuk alkalinitas lainnya di air dengan alkalinitas total sebesar 1 mol dalam rentang pH 4–11.

Hubungan antara CO₂ dan tiga bentuk alkalinitas dalam variasi nilai pH. Penambahan CO₂ ke air akan meningkatkan kelarutan dari gas CO₂ tersebut. CO₂ yang terlarut bereaksi dengan air membentuk asam karbonat. Asam karbonat akan terdisosiasi menjadi ion bikarbonat yang kemudian akan terdisosiasi lagi menjadi ion karbonat. Hasil keseluruhan dari proses pelarutan gas CO₂ antropogenik di air adalah untuk menyisihkan ion karbonat dan menghasilkan ion bikarbonat pada pH yang rendah.

CO₂ dalam air meskipun sangat mudah larut dalam air tetapi umumnya berada dalam keadaan terikat dengan air membentuk asam karbonat (H₂CO₃). Keterikatan CO₂ dalam air dalam bentuk H₂CO₃ sangat dipengaruhi oleh nilai pH air. Pada pH Air yang rendah (pH = 4) karbondioksida berada dalam keadaan terlarut, pada pH antara 7–10 semua karbondioksida dalam bentuk ion HCO₃⁻. Sedangkan pada pH sekitar 11 karbondioksida dijumpai dalam bentuk ion CO₃²⁻, sehingga dalam keadaan basa akan menyebabkan peningkatan ion karbonat dan bikarbonat dalam perairan

Karbondioksida dalam air dapat berasal dari pengikatan langsung dari udara bebas, dan melalui proses respirasi organisme. Karbondioksida dalam perairan sangat dibutuhkan terutama oleh tumbuhan air termasuk algae untuk fotosintesis. Ada perbedaan mendasar antara fotosintesis yang berlangsung pada tumbuhan akuatik dengan fotosintesis tumbuhan terestrial

Sumber karbondioksida yang dibutuhkan pada proses fotosintesis tumbuhan terestrial sepenuhnya langsung diambil dari atmosfer, sementara proses fotosintesis dalam lingkungan akuatik

tergantung pada sumber karbondioksida yang terlarut dalam air. Ada jenis tumbuhan air yang dapat memanfaatkan karbondioksida bebas yang terlarut dalam air secara langsung, tetapi karena pH dalam perairan umumnya netral, maka jarang ditemukan karbondioksida dalam bentuk bebas

Berdasarkan sumber CO₂ yang dibutuhkan untuk proses fotosintesis, tumbuhan air dibedakan menjadi 3 tipe yaitu:

a) Tipe fontinalis, yaitu tumbuhan yang melakukan fotosintesis dengan memanfaatkan karbondioksida bebas, seperti pada lumut air (*Fonatalis antipyretica*) b) Tipe Elodea, yaitu tumbuhan air yang untuk fotosintesis selain membutuhkan karbondioksida bebas juga dalam bentuk ion-ion karbonat c) Tipe *Scenedesmus*, yaitu tumbuhan yang melakukan fotosintesis dengan memanfaatkan ion bikarbonat, biasanya dilakukan oleh ganggang hijau Pada perairan yang mengandung kalsium tinggi, karbondioksida akan berikatan dengan kalsium karbonat membentuk kalsium hidrogen bikarbonat Senyawa ini akan menjadi cadangan karbondioksida untuk fotosintesis.

Metode Pengukuran CO₂ Terlarut

- 1) Titrimetri ➤ Titrasi : proses penentuan banyaknya suatu larutan dengan konsentrasi yang diketahui dan diperlukan untuk bereaksi secara lengkap dengan sejumlah contoh tertentu yang akan di analisis.
- 2) Prinsip kerja : Menggunakan suatu indikator yaitu suatu zat yang ditambahkan sampai seluruh reaksi selesai yang dinyatakan dengan perubahan warna. Perubahan warna menandakan telah tercapainya titik akhir titrasi.

Nilai konsentrasi karbondioksida terlarut dihitung dengan rumus :

$$\text{CO}_2 \text{ (mg/L)} = \frac{\text{ml titran} \times N_{\text{titran}} \times 44 \times 1000}{\text{ml sampel}}$$

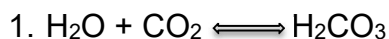
Keterangan : Konsentrasi CO₂ terlarut dalam air (mg/L)

ml titran : Volume titran NaOH yang terpakai (ml)

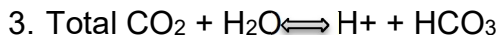
N titrant : Nilai konstanta N

ml sampel : Volume cairan sampel yang digunakan

Karbon dioksida CO₂ bersifat asam di dalam air:



Kurang dari 1% CO₂ terlarut dalam air membentuk asam karbonat (H₂CO₃) dan H₂CO₃ sifatnya sangat terurai. Oleh karena itu CO₂ + H₂CO₃ dapat disebut CO₂ total dan ditulis sbb:



Kesetimbangan persamaan tersebut (K₁):

$$4. \frac{(\text{H}^+)(\text{HCO}_3^-)}{(\text{Total CO}_2)} = K_1 = 10^{-6.35}$$

(Total CO₂)



Kesetimbangan untuk peruraian (disosiasi) HCO₃⁻

$$6. \frac{(\text{H}^+)(\text{CO}_3^{2-})}{(\text{HCO}_3^-)} = K_2 = 10^{-10.33}$$

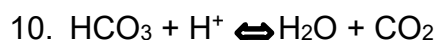
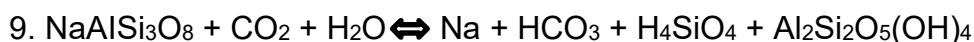
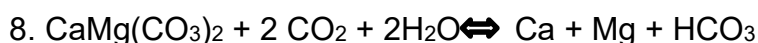
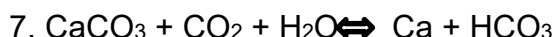
(HCO₃⁻)

K₂ kecil, (CO₃²⁻) = diabaikan sama sekali dalam air murni yang mengandung (CO₂) tinggi. Jika pH meningkat maka (CO₃²⁻) meningkat dan (CO₂) menurun untuk menjaga nilai K₁ dan K₂.

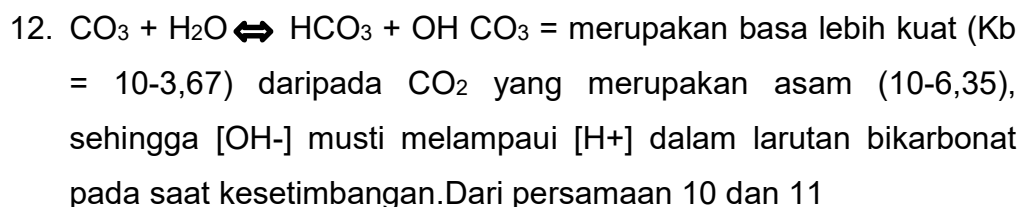
Karbon dioksida total dan karbonat masing-masing akan mempunyai konsentrasi sangat rendah jika $[\text{CO}_3^{2-}] = [\text{CO}_2 \text{ Total}]$ derajat keasaman (pH) pada konsentrasi $[\text{CO}_3^{2-}] = [\text{CO}_2 \text{ Total}] = 8.34$

Oleh karena itu dapat diketahui bahwa pada $\text{pH} > 8,34$ CO_2 tidak ada, dan $\text{pH} < 8,34$ CO_3 tidak ada.

Bikarbonat dan karbonat di perairan alami



Karbonat merupakan basa karena dapat terhidrolisis menghasilkan OH



Kesetimbangan persamaan tersebut $K = 10^{-3,98}$



Jika CO_2 dihilangkan dari larutan, 2 molekul HCO_3^- musti diurai menjadi 1 molekul CO_2 dan CO_3 meningkat (Persamaan 13).

Hidrolisis CO_3 (Persamaan 12) hanya menghasilkan dan mengganti 1 molekul HCO_3^- sehingga jika CO_2 berkurang/dihilangkan $\text{CO}_3^{=}$ meningkat dan pH meningkat. Cara lain untuk melihat hubungan antara CO_2 total, CO_3^{2-} dan H^+ adalah dengan menggabungkan persamaan 2.3 dan 2.5 dan konstanta kesetimbangannya.

Konsentrasi $[\text{CO}_2]$ menurun sehingga pH meningkat dan $\text{CO}_3^{=}$ meningkat. Kenyataannya bahwa pH meningkat karena $[\text{CO}_3^{=}]$ meningkat dan terhidrolisis sehingga akan meningkatkan $[\text{OH}^-]$. Hubungan pH, CO_2 , HCO_3^- dan $\text{CO}_3^{=}$.

Karbondioksida di dalam perairan umum seperti danau terdapat dalam bentuk bebas dan bentuk terikat. Karbon dioksida dalam bentuk terikat terutama terikat dengan unsur kalsium dan Magnesium yang biasanya dalam bentuk Bikarbonat. Alat untuk mengukur kadar karbon dioksida disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Alat untuk mengukur Karbon dioksida

Prinsip kerja CO_2 *analyzer* adalah sampel disambungkan pada bagian *injection tube* yang kemudian dibawa melewati saluran injection tube menuju instrument CO_2 *analyzer* dan langsung dideteksi dengan menggunakan tester (mV) sehingga terlihat besarnya emisi CO_2 .

Tidak semua karbon dioksida di perairan bersenyawa dengan Ca dan Mg menjadi bikarbonat atau karbonat agar supaya senyawa bikarbonat atau karbonat menjadi mantap dalam air, sejumlah kelebihan karbon dioksida tertentu harus tetap berada dalam larutan. Karbon dioksida ini yang diperlukan untuk mempertahankan unsur Ca dan Mg dalam larutan disebut oksigen pengimbang. Karbon dioksida pengimbang tidak dapat melarutkan kalsium bikarbonat dalam proses

selanjutnya, maka dibutuhkan karbon dioksida agresif. Karbon dioksida agresif yaitu sejumlah karbon dioksida yang berlebihan dari harga pengimbang untuk melarutkan kalsium bikarbonat dalam proses selanjutnya.

Karbon dioksida pengimbang yang diperlukan untuk mempertahankan kelarutan berbagai senyawa $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ dapat dilihat pada Tabel 8

Tabel 8 Karbondioksida Pengimbang dalam Air

$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (mg setara)	CO_2 Pengimbang (mg/l)	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (mg setara)	CO_2 pengimbang (mg/l)
0,5	0,15	3,5	10,1
1,0	0,6	4,0	15,9
1,5	1,2	4,5	24,9
2,0	2,5	5,0	35,0
2,5	4,0	5,5	48,3
3,0	6,5	6,0	64,1

8.3. Alkalinitas

Alkalinitas adalah gambaran kapasitas air untuk menetralkan asam, atau dikenal dengan *acid neutralizing capacity* (ANC) atau kuantitas anion dalam air yang dapat menetralkan kation hydrogen. Alkalinitas juga diartikan sebagai kapasitas penyangga (*buffer capacity*) terhadap perubahan pH perairan. Penyusun alkalinitas perairan adalah anion bikarbonat (HCO_3^-), karbonat (CO_3^{2-}), dan hidroksida (OH^-). Borat (H_2BO_3^-), silikat (HSiO_3^-), fosfat (HPO_4^{2-} dan H_2PO_4^-), sulfida (HS^-), dan amonia (NH_3). Sebagai pembentuk

alkalinitas yang utama adalah bikarbonat, karbonat, dan hidroksida, dan bikarbonat adalah paling banyak terdapat pada perairan alami (Effendi, 2003).

Alkanitas merupakan salah satu parameter kimia yang dapat dipakai untuk mengetahui kebiasaan air. Kisaran pH suatu perairan kadang mengalami fluktuasi atau perubahan cukup drastis. Hal ini kurang menguntungkan, sebab akan mempengaruhi kehidupan ikan yang dipelihara.

Alkalinitas total adalah basa-basa dalam air yang dapat tertitrasi sebagai CaCO_3 ekuivalen. Dalam perairan umumnya HCO_3^- dan CO_3^{2-} merupakan basa-basa agak dominan. Dapat diturunkan sebagai alkalinitas bikarbonat, alkalinitas karbonat dalam beberapa perairan sebagai alkalinitas hidroksida. Alkalinitas total air antara < 5 mg/l hingga beberapa ratus mg/l. Alkalinitas air mencerminkan kandungan karbonat batuan dan tanah sekitarnya dan lumpur dasar.

Alkalinitas suatu perairan menunjukkan kandungan basa yang bersenyawa dengan ion karbonat dan bikarbonat. Alkalinitas total air umumnya berasal dari ion karbonat dan bikarbonat. Swingle (1968) menyebutkan klasifikasi alkalinitas air untuk perikanan, yaitu: Alkalinitas antara 0-10 ppm termasuk sangat rendah (sangat asam), 10-50 ppm termasuk rendah, 50-200 ppm termasuk sedang dan > 200 ppm CaCO_3 termasuk tinggi (sangat alkalin).

Kesadahan total air merupakan kandungan ion-ion alkali total (biasanya hanya meliputi Ca dan Mg). Air sadah (keras) mengandung alkali tinggi, sedangkan air lunak mengandung alkali rendah (Boyd, 1989). Sawyer dan McCarty (1967) cit Boyd (1979) mengklasifikasikan kesadahan air yang meliputi air lunak berkisar antara 0-75 ppm, sedang 75- 150 ppm, keras 150-300 ppm dan sangat keras > 300 ppm

CaCO₃. Perairan yang mempunyai kesadahan lunak, lebih rendah dari 20 ppm dianggap secara biologis kurang produktif (Boyd, 1979). Perairan waduk Sermo mempunyai alkalinitas sedang dan kesadahan lunak, cukup baik untuk mendukung kehidupan pakan alami (plankton) dan ikan. Produktivitas perairan yang lebih besar bukan akibat langsung dari konsentrasi alkalinitas yang lebih tinggi, tetapi dari tingkat fosfat atau hara-hara esensial lainnya yang tinggi sesuai dengan tingginya alkalinitas (Boyd, 1979). Alkalinitas dan kesadahan air dapat digunakan untuk menduga kesuburan suatu perairan (Swingle, 1968).

Alkalinitas dan kesadahan air waduk Sermo masing-masing berkisar antara 30-156 ppm CaCO₃ (rata-rata 94 ppm CaCO₃) dan 36-118 ppm CaCO₃ (rata-rata 73 ppm CaCO₃). Alkalinitas total air lebih besar daripada kesadahan total berarti bahwa ion-ion karbonat (HCO₃⁻ + CO₃²⁻) umumnya bersenyawa dengan K⁺ dan Na⁺ daripada Ca²⁺ dan Mg²⁺. Jika kesadahan total lebih besar daripada alkalinitas total, beberapa Ca²⁺ dan Mg²⁺ lebih bersenyawa dengan SO₄⁼, Cl⁻, SiO₃⁼ atau NO₃⁻ daripada dengan ion karbonat (HCO₃⁻ dan CO₃²⁻) (Boyd, 1979).

Alkalinitas secara biologi : > 40 mg/l termasuk *hard water* dan < 40 mg/l termasuk *soft water*. Produktivitas yang lebih besar bukan langsung karena alkalinitas yang lebih besar, tetapi karena hara P dan hara utama lainnya yang lebih besar yang menyebabkan peningkatan alkalinitas. Penyanggaan oleh sistem alkalinitas.

Karbon dioksida yang ditambahkan kedalam larutan yang mengandung CO₃⁼ atau HCO₃⁻ menyebabkan penurunan pH, karena CO₂ sebagai sumber H⁺ yang bereaksi dengan CO₃⁼ atau HCO₃⁻. Karbon dioksida berasal dari respirasi dan difusi atmosfer. Sebaliknya,

pengurangan CO_2 menyebabkan kenaikan pH. CO_3^{2-} yang menyangga air mengalami perubahan pH secara tiba-tiba. Jika H^+ meningkat maka:

$+\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{pH berubah sedikit}$. Penambahan $[\text{OH}^-]$ menyebabkan penurunan $[\text{H}^+]$ karena $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ membentuk H^+ , oleh karena itu perubahan pH kurang terjadi.

Fluktuasi atau perubahan nilai pH yang drastis disuatu perairan dapat dicegah apabila perairan tersebut mempunyai sistem buffer yang memadai. Suatu perairan mengandung mineral karbonat, bikarbonat, borat, dan silikat, maka pada perairan tersebut akan memiliki pH di atas netral (bersifat basa) dan sekaligus dapat mencegah terjadinya penurunan pH secara drastis (Cholik, 1986).

Perairan kolam dengan total alkalinitas kurang dari 15 atau 20 mg/l biasanya mengandung sedikit CO_2 sedangkan total alkalinitas 20 – 150 mg/l mengandung CO_2 yang cukup untuk produksi plankton pada budidaya ikan di kolam. Perairan dengan alkalinitas rendah mempunyai daya tangkap yang kurang atau rendah terhadap perubahan pH (Afrianto dan Liviawaty, 1998).

Keadaan perairan alami yang normal nilai menggambarkan nilai kebebasan dari Karbonat dan Bikarbonat. Besarnya nilai ini menunjukkan adanya kapasitas penyangga pada perairan tersebut serta dapat digunakan sebagai penduga kesuburan. Perkiraan kesuburan ini hanya berlaku pada daerah-daerah yang bercurah hujan sedang sampai tinggi karena di daerah tersebut komponen alkalinitas yang dominan adalah Ca, Mg, Karbonat dan Bikarbonat. Adanya pengukuran alkalinitas maka dapat diketahui sejauh mana garam-garam essensial di perairan air tawar dapat menyangga perubahan pH dan kadar karbon dioksida bebas. Kalsium yang berlebihan akan

memanfaatkan fosfat dan mengendap di dasar perairan yang setiap saat akan berubah menjadi Ortophospat untuk kehidupan biota nabati di perairan (Susanto, 1991).

Alkalinitas suatu perairan diartikan sebagai derajat keasaman yang dapat menentukan kesuburan air. Nilai alkalinitas dapat diketahui produktivitas suatu perairan. Total alkalinitas yang dibutuhkan dalam pembudidayaan ikan nila berada pada kisaran 50 – 300 mg/L (Cholik, 1986).

Cara Mengukur Alkalinitas

Alat dan Bahan yang digunakan:

Alat: Peralatan penelitian yang digunakan adalah erlenmeyer 250 ml, pipet tetes, dan pipet skala.

Bahan: Methyl Orange 0.1% Sebanyak 100 mg, $C_{14}H_{14}N_3NaSO_3$ dilarutkan dengan akuades dan dijadikan 100 ml. H_2SO_4 0.02 N.

Persiapkan larutan H_2SO_4 kira-kira 0,1 N dengan mengencerkan 2,8 mL H_2SO_4 pekat menjadi 1000 mL dengan penambahan air suling bebas CO_2 . Encerkan 200 mL H_2SO_4 0,1 N menjadi 1000 mL dengan penambahan air suling bebas CO_2 . Normalitas larutan ini kira-kira 0,02 N, tetapi harus dengan teliti distandarisasi untuk menentukan normalitas yang lebih akurat.

Cara Kerja

Pada contoh uji yang telah disiapkan ditambahkan 6 tetes *Methyl Orange* (MO) 0.1%, (warna kuning). Kemudian titrasi dengan larutan. H_2SO_4 0.02 N hingga terbentuk warna orange. Volume titran yang terpakai (ml) dicatat untuk perhitungan volume total alkalinitas.

$$Total Alkalinitas (mg / L) = \frac{V_x N_x 50 \times 1000}{V_{Sample}}$$

Dimana :

V = Volume Titran H_2SO_4 (mL)

N = Normalitas Titran H_2SO_4

V_{sample} = Volume Sample (mL)

Analisis Sampel

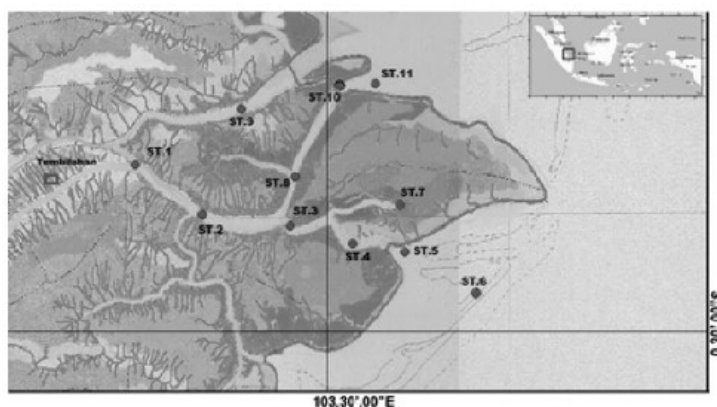
Analisis total alkalinitas ini dilakukan dengan metode titrasi menggunakan H_2SO_4 0.02N. Pada metode ini menggunakan indikator *Methyl Orange* 0.1% yang titik akhir titrasi ditandai dengan perubahan warna dari kuning ke orange tipis.

Alkalinitas air adalah kemampuan dari air tersebut untuk menetralkan asam. Nilai pengukuran dapat dikatakan sangat signifikan dengan titik akhir pH yang digunakan. Ketika alkalinitas berdasarkan kandungan karbonat dan bikarbonat, maka nilai pH pada titik setimbang titrasi ditentukan oleh jumlah karbon dioksida (CO_2) yang terbentuk pada saat titrasi. Selama CO_2 tidak dapat membuat air tidak lebih asam dari pH 4,5 maka nilai pH tersebut digunakan untuk penentuan titik akhir titrasi alkalinitas

Menurut Effendi (2003), selain bergantung pada pH, alkalinitas juga dipengaruhi oleh komposisi mineral, suhu, dan kekuatan ion. Kation utama yang mendominasi perairan tawar adalah kalsium dan magnesium, sedangkan pada perairan laut adalah sodium dan magnesium. Anion utama pada perairan tawar adalah bikarbonat dan karbonat, sedangkan pada perairan laut adalah klorida (Barnes, 1989).

Nilai alkalinitas perairan alam hampir tidak pernah melebihi 500 mg/Liter CaCO_3 . Nilai alkalinitas yang baik berkisar antara 30 – 500 mg/L CaCO_3 . Nilai alkalinitas pada perairan alami adalah 40 mg/L CaCO_3 (Boyd, 1988).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Bintoro dan Abidin, 2014 Hasil pemeriksaan Total Alkalinitas di perairan estuari Sungai Indragiri Riau, sebagaimana Gambar 8. di bawah.

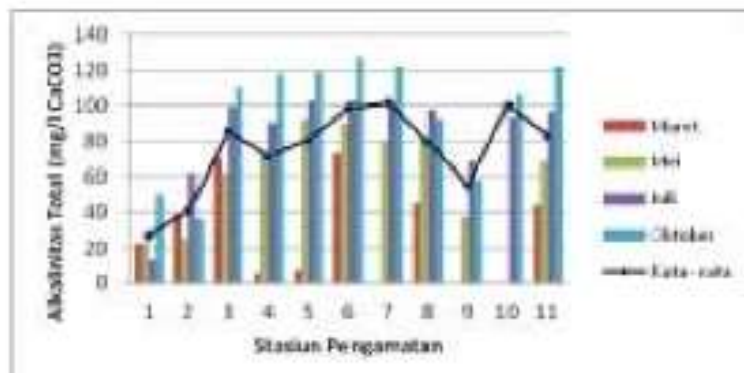


Gambar 8. Stasiun pengamatan total alkalinitas di estuari sungai Indragiri, Riau (Sumber Bintoro dan Abidin, 2014).

Berdasarkan hasil pengukuran tersebut dapat diketahui bahwa total alkalinitas terendah di perairan estuari sungai Indragiri di stasiun Teluk Mas pada bulan Juli sebesar 13,75 mg/Liter CaCO_3 dan total alkalinitas tertinggi di stasiun Kuala Indragiri pada bulan Oktober sebesar 127,5 mg/Liter CaCO_3 .

Berdasarkan perhitungan rata-rata total alkalinitas di setiap stasiun, dapat diketahui bahwa rata-rata total alkalinitas terendah sebesar 27, 1875 mg/L CaCO_3 dan tertinggi sebesar 101, 877 mg/L CaCO_3 . Nilai alkalinitas yang baik berkisar antara 30 – 500 mg/L

CaCO_3 . Perairan estuari Sungai Indragiri, Riau bisa dikatakan baik bila ditinjau dari kadar total alkalinitasnya.



Gambar 9. Fluktuasi total alkalinitas di perairan estuari sungai Indragiri (Sumber: Hasil penelitian Akhlis Bintoro dan Mukhtarul Abidin, 2014)

Berdasarkan Gambar 9. dapat dijelaskan bahwa nilai total alkalinitas di perairan estuari Sungai Indragiri pada kisaran 13,75 mg/L CaCO_3 , pada bulan Juli dan 127,5 mg/L CaCO_3 pada bulan Oktober sebesar, menunjukkan bahwa kadar total alkalinitas masih pada kondisi baik.

8.4. Kesadahan Total

Kesadahan adalah banyaknya garam-garam mineral yang larut yang kationnya bervalensi dua. Kation tersebut umumnya terdiri dari Ca dan Mg dengan anion CO_3^{2-} dan HCO_3^- dinyatakan dalam MgCaCO_3 per liter air yang dibutuhkan. Ion Ca dan Mg umumnya bergabung dengan mineral-mineral karbonat yang merupakan sumber utama alkalinitas air. Oleh karena itu besarnya $\text{meq/l} + \text{Mg}^{2+}$ seringkali sama dengan $\text{meq/l} \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ dalam suatu perairan. Alkalinitas divalent bereaksi dengan sabun membentuk endapan. Air dengan konsentrasi alkalin tinggi termasuk *hard water*. Ion Ca dan Mg

umumnya sebagai alkalin dalam perairan tawar sehingga konsentrasinya sebagai CaCO_3 ekuivalen sebagai kesadahan total (*Total Hardness*). Beberapa menyebutkan bahwa air dengan alkalinitas tinggi termasuk *hard water* antara alkalinitas dan kesadahan sangat berhubungan.

Kesadahan total berdasarkan klasifikasi kesadahan total , sebagaimana disajikan pada Tabel 9 berikut :

Tabel 9. Klasifikasi Kesadahan Total

Kesadahan Total (mg/L)		Kelas
0-75	:	<i>Soft</i>
75-150	:	<i>Moderate Hard</i>
150-300	:	<i>Hard</i>
>300	:	<i>Very Hard</i>

Kesadahan total merupakan karbonat (alkalinitas) oleh karena itu alkalinitas total sedikit lebih rendah daripada kesadahan total. Kesadahan karbonat = alkalinitas total, jika alkalinitas $\geq$ kesadahan total berarti kesadahan karbonat (alkalinitas) = kesadahan total jika alkalinitas total $>$ kesadahan total berarti beberapa HCO_3^- dan CO_3^{2-} berhubungan dengan K^+ dan Na^+ daripada Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Jika Kesadahan total $>$ alkalinitas total beberapa Ca^{2+} dan Mg^{2+} berhubungan dengan SO_4^{2-} , Cl^- , SiO_3^{2-} atau NO_3^- dari pada HCO_3^- dan CO_3^{2-} .

Konsentrasi total dari ion logam yang bervalensi dua terutama Ca dan Mg dinyatakan dalam mg/L setara CaCO_3 menunjukkan tingkat kesadahan air. Total alkalinitas dan kesadahan air umumnya sama,

namun pada beberapa perairan tertentu lebih besar atau sebaliknya. Tingkat total alkalinitas dan kesadahan air yang diperlukan untuk budidaya ikan umumnya pada deret 20–300 mg/L. Total alkalinitas dan kesadahan air yang lebih rendah dapat ditingkatkan dengan pemberian kapur, sedangkan bila terlalu tinggi belum ditemukan cara yang praktis untuk menurunkannya (Rejeki, 2001).

Kesadahan air disebabkan oleh banyaknya mineral dalam air yang berasal dari batuan dalam tanah, baik dalam bentuk ion maupun dalam bentuk ikatan molekul. Elemen terbesar (*major element*) yang terkandung dalam air adalah kalsium (Ca^{++}), Magnesium (Mg^{++}). Alat pengukur kesadahan Air YD300 disajikan pada Gambar 10.

Menurut Effendi (2003), kesadahan perairan berasal dari kontak air dengan tanah dan bebatuan. Air hujan sebenarnya tidak memiliki kemampuan untuk melarutkan ion-ion penyusun kesadahan yang banyak terikat di dalam tanah dan batuan kapur (*limestone*), meskipun memiliki kadar karbon dioksida yang relatif tinggi



Gambar 10. Alat untuk mengukur Alkalinitas (Hardness Meter YD300)

Larutnya ion-ion yang dapat meningkatkan nilai kesadahan disebabkan oleh aktivitas bakteri di dalam tanah, yang banyak mengeluarkan karbon dioksida.

8.5. Salinitas

Salinitas merupakan salah satu parameter lingkungan yang mempengaruhi proses biologi dan secara langsung akan mempengaruhi laju pertumbuhan dan kehidupan organisme antara lain yaitu mempengaruhi laju pertumbuhan, jumlah makanan yang dikonsumsi, nilai konversi makanan, dan daya kelangsungan hidup.

Salinitas adalah ukuran jumlah garam yang terlarut di dalam air. Suhu sangat mempengaruhi kondisi salinitas perairan, semakin tinggi suhu akan berdampak pada tingginya salinitas. Proses evaporasi akibat suhu yang meningkat akan meningkatkan salinitas. Organisme perairan yang mempunyai toleransi salinitas sempit dikenal dengan stenohaline seperti ikan-ikan yang hidup di air tawar, sebaliknya organisme dengan toleransi salinitas lebar dikenal dengan euryhaline seperti ikan-ikan laut, dan estuaria. Salinitas dipengaruhi oleh beberapa hal, yakni 1). Pola sirkulasi air, 2). Penguapan, 3) Curah hujan, dan 4) Aliran air. Salinitas total perairan tawar biasanya didominasi empat kation utama [kalsium (Ca^{+1}), magnesium (Mg^{++}), sodium (Na^{+}), dan potassium (K^{+})], anion-anion utama (bikarbonat (HCO_3^{-}), Karbonat (CO_3^{-}), sulfat (SO_4^{-}), dan khlorida (Cl^{-})). Salinitas perairan permukaan seluruh dunia, konsentrasi rata-ratanya sekitar 120 mg l^{-1} , tetapi bervariasi di antara benua dan dengan batuan dari massa tanahnya.

Salinitas diatur oleh kontribusi ion melalui pencucian batuan dan tanah serta aliran limbah drainase cekungan, presipitasi, konsentrasi ion-ion utama di banyak perairan permukaan dunia cenderung berada pada proporsi $\text{Ca} > \text{Mg} \geq \text{Na} > \text{K}$, dan CO_3^{-}

$\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$. Pada perairan lunak dan perairan permukaan wilayah pesisir, Na dan Cl sering terdapat dalam konsentrasi yang lebih besar.

Pelepasan ion-ion sepanjang tanah dan batuan yang mengalami pelapukan dikendalikan oleh proses pelarutan, reduksi-oksidasi, aksi ion-ion hidrogen, dan pembentukan organik kompleks. Sumber utama salinitas yang banyak terlarut di perairan tawar dan danau-danau asin tertentu di wilayah kering (arid) adalah kandungan ion dari presipitasi atmosfer dan timbunan partikulat.

Konsentrasi kation-kation magnesium, sodium, dan potassium, serta anion utama –chlorida- relative konservatif (tetap). Fluktuasi ruang (spatial) dan waktu (temporal) di dalam suatu danau cukup kecil dari penggunaan biotik dan perubahan lingkungan melalui proses biotik. Kalsium, karbon organik, dan sulfat cukup dinamis, dan konsentrasi ion-ion tersebut sangat dipengaruhi oleh metabolisme mikrobial.

Proporsi konsentrasi kation-kation utama dan rasio kation-kation monovalen; divalent dapat mempengaruhi metabolisme berbagai organisme, terutama alga-alga tertentu dan tumbuhan tingkat tinggi, sebesar konsentrasi absolut yang dicapai. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan beberapa kation tidak proporsional dengan kation lainnya (sebagai contoh pembentukan organik kompleks dari kalsium- atau secara biologis, dipengaruhi dengan penghilangan kalsium (decalcification epilimnion), secara tidak langsung mempengaruhi suksesi populasi musiman dan produktivitas.

Salinitas perairan tawar relatif rendah, dan sangat berpengaruh terhadap penyebaran biota, serta sejarah evolusinya yang panjang dalam adaptasi fisiologis terhadap pengaturan ionik dan osmotik pada lingkungan yang hipotonik –tekanan rendah- secara ekstrim. Meskipun

beberapa kelompok bakteri dan alga relatif homoiosmotik dan hanya dapat mentolerensi kisaran salinitas yang sempit, sebagian besar flora dan fauna tingkat rendah dapat beradaptasi terhadap kisaran salinitas yang luas (eurihalin). Sebagian besar hewan-hewan perairan tawar berasal dari laut atau daratan dan beradaptasi sekunder terhadap air tawar. Hampir seluruh organisme tersebut telah menurunkan tekanan osmotik cairan tubuhnya dan telah mengembangkan mekanisme yang efisien untuk pengambilan ion-ion secara aktif, dan mekanisme ginjal untuk menahan ion.

8.6. Derajat Keasaman (pH)

Derajat Keasaman (pH) adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. pH didefinisikan sebagai kologaritma aktivitas ion hidrogen (H^+) yang terlarut. Koefisien aktivasi ion hydrogen tidak dapat diukur secara eksperimental, sehingga nilainya didasarkan pada perhitungan teoritis. Skala pH bukanlah skala absolut. Ia bersifat relatif terhadap sekumpulan larutan standar yang pH-nya ditentukan berdasarkan persetujuan internasional. Konsep pH pertama kali diperkenalkan oleh kimiawan Denmark Soren Peder Lauritz Sorensen pada tahun 1909. Tidaklah diketahui singkatan apakah p pada kata pH. Beberapa referensi mensugestikan bahwa p berasal dari *Power* (daya), yang lainnya merujuk pada bahasa Jerman *Potenz* (yang juga berarti daya dalam Bahasa Jerman). Jens Norby mempublikasikan sebuah karya ilmiah pada tahun 2000 yang berargumen bahwa p adalah sebuah tetapan yang berarti “logaritma negatif”. Air murni bersifat netral, dengan pH-nya pada suhu 25 °C ditetapkan sebagai 7,0. Larutan dengan pH kurang dari pada tujuh

disebut bersifat asam, dan larutan dengan pH lebih dari pada tujuh di katakana bersifat basa atau alkali.

Derajat keasaman adalah suatu ukuran dari konsentrasi ion hidrogen, yang menunjukkan suasana asam atau basa. Derajat keasaman merupakan indikator baik buruknya lingkungan air, sehingga angka pH ini digunakan untuk memperoleh gambaran tentang daya produksi potensial air. Skala pH berkisar antara 0 sampai 14, pH 6 adalah bersifat netral artinya air tersebut tidak bersifat asam dan tidak basa. apabila nilai pH dibawah 6, berarti air tersebut bersifat asam. dan juga apabila pH di atas 6, maka air tersebut bersifat basa. Perairan yang produktif dan ideal bagi kehidupan hewan bentos. memiliki derajat keasaman pH air berkisar 6,5-6,8. Nilai pH di atas 9,2 atau kurang dari 4,8 bisa membunuh ikan dan pH di atas 10,8; dan kurang dari 5,0 akan berakibat fatal bagi ikan-ikan jenis tilapia. Air dengan pH rendah terjadi di daerah tanah yang bergambut. Nilai pH yang tinggi terjadi di perairan dengan kandungan alga tinggi, dimana proses fotosintesis membutuhkan banyak CO_2 . pH akan meningkat hingga atau lebih tinggi jika bikarbonat diserap dari air (Svobodova *et al.*, 1993). Untuk melawan kondisi pH yang rendah atau tinggi ikan akan memproduksi lendir di kulitnya dan di bagian dalam insang. Nilai pH juga mempunyai pengaruh yang signifikan pada kandungan ammonia, H_2S , CHN dan logam berat pada ikan. Pada pH rendah akan meningkatkan potensi untuk kelarutan logam berat. Peningkatan nilai pH hingga 1 angka akan meningkatkan nilai konsentrasi ammonia di dalam air hingga 10 kali lipat dari semula. Stabilisasi pH dipengaruhi oleh aktivitas respirasi dan fotosintesis. Respirasi akan menurunkan pH, dan sebaliknya fotosintesis menaikkan nilai pH. Alat untuk mengukur pH disajikan pada Gambar 11.

Pengukuran pH sangatlah penting dalam bidang yang terkait dengan kehidupan organisme perairan atau industri pengolahan kimia seperti kimia, biologi, kedokteran, pertanian, ilmu pangan, rekayasa (keteknikan), dan oseanografi. Tentu saja bidang-bidang sains dan



Gambar 11. Alat untuk mengukur pH

teknologi lainnya juga memakai meskipun dalam frekuensi yang lebih rendah. Faktor-faktor yang mempengaruhi pH air antara lain: 1). Sinar matahari, 2) Fotosintesis, dan 3). Suhu

UNSUR-UNSUR HARA DALAM PERAIRAN**9.1. Unsur hara Makro**

Unsur hara makro merupakan unsur hara yang dibutuhkan dalam jumlah yang banyak. Beberapa unsur hara yang tergolong unsur hara makro adalah sebagai berikut:

a. Nitrogen

Nitrogen merupakan salah satu bagian unsur yang terpenting dari protoplasma, oleh karena itu merupakan zat yang bernilai tinggi dalam ekosistem perairan. Nitrogen merupakan salah satu unsur penting bagi pertumbuhan organisme dan proses pembentukan protoplasma, serta merupakan salah satu unsur utama pembentukan protein. Di perairan nitrogen biasanya ditemukan dalam bentuk ammonia, ammonium, nitrit dan nitrat serta beberapa senyawa nitrogen organik lainnya.

Nitrogen merupakan salah satu unsur hara utama untuk pertumbuhan dan perkembangan plankton dan tanaman air. Nitrogen berperan untuk pembentukan protein dalam tubuh jasad hidup. Bahan-bahan organik yang berasal dari sisa-sisa hewan atau tanaman di dalam air dapat mengalami perombakan dan mineralisasi, antara lain melepaskan NH_3 . Dalam perairan yang aerob dan dengan bantuan mikroorganisme, NH_3 mengalami nitrifikasi menjadi NO_2 dan NO_3 . Amonia yang terlarut di dalam air bersifat racun terhadap ikan. Pescod (1973) cit. Kartamihardja (1987) menyebutkan bahwa dalam perairan

tropis kandungan NH_3 yang layak untuk kehidupan ikan tidak lebih dari 1 ppm. Amonium NH_4 dan NO_3 tidak bersifat racun terhadap ikan, senyawa ini dapat diserap fitoplankton dan tanaman air untuk pertumbuhan dan perkembangannya.

Pada umumnya nitrogen diabsorpsi oleh fitoplankton dalam bentuk nitrat ($\text{NO}_3 - \text{N}$) dan ammonia ($\text{NH}_3 - \text{N}$). Fitoplankton lebih banyak menyerap $\text{NH}_3 - \text{N}$ dibandingkan dengan $\text{NO}_3 - \text{N}$ karena lebih banyak dijumpai di perairan baik dalam kondisi aerobik maupun anaerobik. Senyawa-senyawa nitrogen ini sangat dipengaruhi oleh kandungan oksigen dalam air, pada saat kandungan oksigen rendah nitrogen berubah menjadi amoniak (NH_3) dan saat kandungan oksigen tinggi nitrogen berubah menjadi nitrat (NO_3). Unsur nitrogen bersifat “inert”, artinya tidak mudah digunakan begitu saja secara langsung oleh kebanyakan hewan maupun tumbuhan. Sehingga nitrogen mempunyai aktivitas biologis yang sangat kecil. Gas ini memasuki semua tubuh organisme, tetapi umumnya keluar lagi tanpa berperan penting dalam proses hidup organisme tersebut. Nitrogen baru dapat dipergunakan sebagai penyusun elemen-elemen tubuh organisme apabila sudah dalam keadaan terikat.

Udara merupakan cadangan nitrogen utama dalam siklus nitrogen. Dalam udara kadarnya sekitar 78% dan sumber lainnya berada di kulit bumi dan perairan. Nitrogen bukan hanya dihasilkan dari atmosfer saja, namun juga dihasilkan dari kegiatan gunung merapi. Pada tumbuhan dan hewan, senyawa nitrogen ditemukan sebagai penyusun protein dan klorofil. Dalam ekosistem terdapat suatu daur antara organisme dan lingkungan fisiknya.

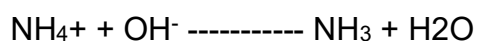
Sumber nitrogen di dalam perairan, berasal dari pengikatan molekul nitrogen oleh bakteri pengikat nitrogen, Penguraian sisa-sisa

organisme yang mati, dan proses oksidasi yang dilakukan oleh bakteri Nitrosomonas. Dalam kondisi dan jumlah tertentu nitrogen dalam ekosistem perairan dapat menjadi faktor pembatas bagi organisme. Nitrogen dalam ekosistem perairan dapat berada dalam bentuk amoniak, nitrit, .nitrat dan urea.

Sumber nitrogen dapat berasal dari penguraian jaringan yang telah mati oleh bakteri, fiksasi oleh ganggang biru seperti Anabaena dan nostoc, limbah pertanian dari hasil pemupukan yang kemudian terbawa aliran air dan masuk dalam waduk atau danau. Nitrogen di badan air menggenang ditemukan melimpah dalam bentuk gas. Pakan ikan yang dimakan oleh ikan sebagian besar dirombak oleh tubuh ikan menjadi daging dan tenaga untuk energi gerak ikan. Sisanya akan dikeluarkan ikan menjadi kotoran padat (faeces) dan kotoran terlarut berupa ammonia. Feces dikeluarkan lewat anus sedangkan ammonia melalui insang ikan. Kotoran padat dan sisa pakan akan diurai (dekomposisi) menjadi polypeptide, asam amino dan ammonia yang dapat terakumulasi pada air kolam.

Dalam kolam ammonia terdiri dari dua bentuk yaitu NH_4^+ (ammonium) yang kurang beracun, dan NH_3 (ammonia) yang sangat beracun. Kedua bentuk ammonia tersebut didalam air berada dalam kesetimbangan dengan reaksi sebagai berikut :

Makin tinggi pH kolam, makin tinggi suhu, maka ammonium (NH_4^+) akan bereaksi bergeser menjadi ammonia (NH_3) yang sangat beracun



Bahan organik seperti sisa pakan, kotoran ikan, plankton dan tumbuhan air yang mati akan menghasilkan ammonia (NH_3) yang larut

dalam air. Ammonia merupakan hasil akhir dari dari proses metabolisme protein. Ammonia dalam bentuk terionisasi merupakan racun bagi ikan. Toksisitas ammonia berkaitan erat dengan pH, dan sedikit terkait dengan suhu dan DO

Pada pH tinggi, total ammonia berubah menjadi bentuk tak terionisasi (dalam bentuk bebas). Pada pH 7, ammonia dalam bentuk tak terionisasi yang beracun $< 1\%$, selanjutnya semakin meningkat, pada pH 8: 5-9 %, pada pH 9: 30-50 %, dan pada pH 10: 80-90 %. Fluktuasi pH sendiri berkaitan dengan nilai alkalinitas yang rendah (kadar alkalinitas yang baik $> 20 \text{ mg/l CaCO}_3$). Kadar ammonia akan meningkat jika suhu naik dan kadar DO rendah. Batas maksimal kadar ammonia total pada air kolam atau perairan umum untuk budidaya ikan air tawar adalah di bawah 0,016 ppm (1 ppm: 1 mg/l). Ammonia total sebesar 0,08 ppm sudah mengakibatkan penurunan nafsu makan dan pertumbuhan. Ammonia total sebesar 0,3 ppm menyebabkan kerusakan pada insang sehingga ikan kekurangan oksigen.

a. Siklus Nitrogen

Nitrogen sebagaimana karbon, hydrogen, dan fosfor, merupakan satu penyusun utama protoplasma sel organisme. Nitrogen merupakan unsur hara pokok yang mempengaruhi produktivitas perairan tawar. Sumber utama nitrogen di biosfir dari fiksasi molekul nitrogen (N_2) atmosfer. Siklus nitrogen merupakan proses biokimia yang kompleks, yang merubah berbagai bentuk nitrogen dengan cara fiksasi nitrogen, asimilasi, dan reduksi nitrat menjadi N_2 dengan proses denitrifikasi. Dari segi praktisnya, siklus nitrogen di danau adalah proses mikrobial alami: Bakteri mengoksidasi dan mereduksi

senyawaan nitrogen, bersamaan dengan asimilasi fotosintesis dan penggunaannya oleh alga-alga serta tumbuhan air tingkat tinggi. Peranan langsung hewan-hewan di dalam siklus nitrogen tampak sangat kecil. Meskipun demikian, di bawah kondisi tertentu, aktivitas pemangsaan dapat mempengaruhi populasi mikrobial dan laju transformasi nitrogen, sebagaimana laju penggunaan oleh organisme yang berfotosintesis, meskipun siklus nitrogen perairan tawar secara kualitatif dimengerti dengan pemahaman yang mendalam, namun dinamika yang kompleks laju transformasi secara kualitatif belum tergambarkan dengan jelas. Hal ini terutama pada antarmuka air-sedimen, tempat metabolisme bakteri yang intensif.

Bentuk-bentuk dominan nitrogen di perairan tawar meliputi: a) molekul N_2 terlarut; b) nitrogen amonia (NH_4^+); c) nitrit (NO_2^-); d) nitrat (NO_3^-); dan e) sejumlah besar senyawa organik (seperti asam amino, amin, nukleotida, protein, dan refraksi senyawa humus dengan kandungan nitrogen rendah).

Siklus nitrogen terdiri dari suatu keseimbangan di antara masukan dan lepasnya nitrogen dari ekosistem perairan. Sumber nitrogen meliputi: i) nitrogen yang dikandung pada partikel *jatuhan kering* dan hujan yang jauh secara langsung ke permukaan danau; ii) fiksasi nitrogen pada air dan sedimen; dan iii) masukan nitrogen dari drainase air permukaan dan air tanah. Lepasnya nitrogen dari danau terjadi melalui: i) aliran keluar dari cekungan; ii) reduksi NO_3^- menjadi N_2 oleh bakteri denitrifikasi disertai lepasnya N_2 ke atmosfer; dan iii) sedimentasi bahan organik dan anorganik yang mengandung senyawa nitrogen ke dalam sedimen.

Fiksasi mikrobial molekul N_2 di dalam tanah oleh bakteri merupakan sumber utama nitrogen. Di sungai dan danau, fiksasi N_2

oleh bakteri dan alga biru tertentu, secara kuantitatif kurang berarti, kecuali dibawah kondisi tertentu dengan adanya penurunan tajam berbagai senyawa nitrogen anorganik. Kandungan N_2 air biasanya berada dalam keseimbangan dengan N_2 di atmosfer, selama periode pencampuran turbulen. Di danau-danau produktif dan berstratifikasi, konsentrasi dapat menurun di epilimnion karena berkurangnya daya kelarutan N_2 sejalan dengan meningkatnya suhu. Di hipolimnion terjadi peningkatan N_2 sebagai akibat denitrifikasi NO_3 .

Fiksasi N_2 oleh alga hijau biru biasanya jauh lebih besar dari fiksasi bakteri. Pada alga biru, fiksasi N_2 agak tergantung dan biasanya sejalan dengan distribusi ruang dan waktu dari alga tersebut. Asimilasi NH_4-N memerlukan pengeluaran energi yang lebih kecil daripada NO_3-N , dan NO_3-N lebih dari NO_2-N . Fiksasi N_2 oleh alga hijau biru meningkat ketika konsentrasi NH_4-N dan NO_3-N menurun di wilayah trofogenik. Fiksasi bakterial N_2 di sekitar lahan basah (paya-paya) sekeliling danau atau sekitar sungai, dapat menambahkan berbagai bentuk nitrogen ke dalam ekosistem danau dalam jumlah yang cukup berarti.

Ammonia dihasilkan oleh bakteri heterotroph sebagai nitrogen utama hasil akhir perombakan protein dan senyawa nitrogen organik lainnya. Ammonia terutama berada sebagai ion-ion NH_4^+ , yang segera diassimilasi oleh tumbuhan (komponen nabati) di wilayah trofogenik. Konsentrasi NH_4-N biasanya rendah pada perairan yang aerob, karena penggunaannya oleh tumbuhan di wilayah fotik. Tambahan pula, terjadinya nitrifikasi bakteri yang mengoksidasi NH_4^+ melalui beberapa senyawa peralihan menjadi NO_2^- dan NO_3^- .

Pada saat hipolimnion suatu danau eutrofik menjadi anaerob, nitrifikasi bakteri ammonia terhenti. Oksidasi di wilayah sempit

antarmuka air-sedimen juga menghilang, sehingga kemampuan adsorpsi sedimen menurun. Suatu peningkatan yang cukup berarti terlepasnya NH_4^- dari sedimen. Akibatnya, konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ hipolimnion meningkat. Nitrifikasi bakterial berlangsung dalam dua tahap: i) oksidasi $\text{NH}_4^- \rightarrow \text{NO}_2^-$, terutama oleh bakteri *Nitrosomonas*, tetapi juga boleh bakteri lainnya, meliputi bakteri pengoksidasi metana; ii) oksidasi $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$, yang melibatkan bakteri genus *Nitrobacter* secara dominan.

Nitrit (NO_2^-) dengan segera dioksidasi dan jarang terakumulasi, kecuali pada metalimnion –lapisan atas hipolimnion, atau di celah sedimen danau-danau eutrofik. Konsentrasinya biasanya rendah ($< \mu\text{g/L}$), kecuali jika polusi organik cukup tinggi. Nitrat diassimilasi dan diaminasi menjadi senyawa nitrogen organik di dalam organisme. Nitrogen organik ini diikat dan bersiklus di dalam organisme fotosintesis dan mikrobial. Selama organisme melakukan metabolisme yang normal, pada saat kematiannya, nitrogen yang terikat pada organisme dibebaskan sebagai amonia. Selain itu, organisme akan melepaskan beragam senyawa nitrogen organik yang resisten terhadap deaminasi proteolitik dan amonifikasi oleh bakteri heterotrofik ke dalam berbagai tingkatan. Nitrat (NO_3^-) merupakan bentuk nitrogen organik yang umum memasuki perairan tawar dari air permukaan drainase cekungan perairan, air tanah, dan hujan. Pada perairan oligotrofik tertentu, pada formasi batuan basalt, muatan nitrat dari atmosfer terutama jika terkontaminasi sisa-sisa pembakaran dari kegiatan manusia dapat mendominasi muatan nitrogen.

Denitrifikasi bakteri merupakan reduksi kimia dari anion-anion nitrogen yang teroksidasi (NO_3^- dan NO_2^-), sejalan dengan oksidasi bahan organik: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$. Nitrat oksidasi (N_2O) dengan

segera direduksi menjadi N_2 , dan danau-danau tidak pernah didapatkan dalam jumlah memadai. Denitrifikasi diselenggarakan oleh berbagai genus bakteri anaerob fakultatif, yang menggunakan nitrat sebagai terminal eksogen penerima hydrogen di dalam oksidasi substrat organik. Denitrifikasi terjadi pada lingkungan anaerob, seperti di lapisan hipolimnion danau-danau eutrofik atau di dalam sedimen anoxic- yang relatif melimpah dengan subtrat yang dapat dioksidasi.

Nitrogen organik terlarut (DON; *Dissolved Organic Nitrogen*) sering menyusun lebih dari 50% nitrogen terlarut total di perairan tawar. Lebih dari setengah DON terdapat sebagai senyawa amino nitrogen, sebagian besar sebagai polipeptida dan senyawa nitrogen yang kompleks. Rasio DON terhadap nitrogen organik partikel (PON; *Particulate Organic Nitrogen*) dari sungai dan danau biasanya 5 : 1 sampai 10 : 1. Semakin eutrofik suatu danau semakin menurun rasio DON : PON.

Penyebaran nitrogen di suatu danau dapat berubah dengan cepat. Sebagai contoh, penyebaran waktu kedalaman berbagai bentuk nitrogen yang berbeda menunjukkan bahwa danau menjadil lebih produktif karena muatan unsur hara. Pada kondisi tersebut, konsentrasi NO_3^- dan NH_4^+N di wilayah trofogenik dapat direduksi dengan kuat dan menurun oleh asimilasi fotosintesis. Alga hijau biru dengan kemampuan fiksasi nitrogen dapat menjadi lebih dominan. Di hipolimnion yang anaerob, NO_3^-N dengan segera didenitrifikasi menjadi N_2 , yang kemudian akan difiksasi atau hilang ke atmosfer. Di bawah kondisi anaerob, terjadi akumulasi NH_4^+N dari perombakan bahan organik dan melepaskannya ke sedimen. Sebagian besar nitrogen total terdapat di dalam sedimen dalam bentuk-bentuk yang relatif tidak dapat dimanfaatkan untuk penggunaan biotis. Nitrogen

yang dapat tersedia dengan segera, terutama terdapat dalam bentuk terlarut di air dan air pada celah-celah permukaan sedimen (dan pada vegetasi littoral danau-danau dangkal dan produktif). Laju perputaran $\text{NH}_4\text{-N}$ di dalam air cepat, tapi di dalam sedimen lebih lambat. Sebaliknya pada perputaran NO_3^- , lebih lambat di dalam air dan cepat di sedimen. Di bawah kondisi anoksik pada danau-danau eutrofik, $\text{NO}_3\text{-N}$ dengan segera didenitrifikasi menjadi N_2 .

Rasio karbon organik terhadap nitrogen (C : N) menunjukkan suatu pendekatan keadaan resistensi campuran kompleks senyawa organik untuk mengalami perombakan, karena metabolisme proteolitik oleh fungi dan bakteri yang dapat menghilangkan nitrogen secara proporsional lebih banyak dari karbon rasio C : N yang lebih tinggi pada umumnya terjadi di dalam residu senyawa organik yang lebih resisten terhadap proses perombakan.

Bahan organik dari allochthonous dan sumber-sumber lahan basah pada umumnya memiliki rasio C : N dari 45 : 1 sampai 50 : 1, dan mengandung banyak senyawa humus yang rendah kadar nitrogennya. Bahan organik autochthonous yang dihasilkan dari perombakan plankton cenderung memiliki kadar protein lebih tinggi dan rasio C : N sekitar 12 : 1.

Peningkatan muatan nitrogen anorganik ke dalam sungai dan danau seringkali sebagai akibat aktivitas pertanian, cairan limbah, dan polusi atmosfer akibat manusia. Di danau-danau oligotrof yang tidak produktif, ketersediaan fosfor sering menjadi faktor pembatas utama – unsur hara- untuk pertumbuhan vegetasi. Sebagaimana meningkatnya muatan fosfor ke dalam perairan tawar dan danau-danau menjadi lebih produktif, nitrogen menjadi lebih penting sebagai unsur hara pembatas pertumbuhan.

Nitrogen hadir di lingkungan dalam berbagai bentuk kimia termasuk nitrogen organik, amonium (NH_4^+), nitrit (NO_2^-), nitrat (NO_3^-), dan gas nitrogen (N_2). Nitrogen organik dapat berupa organisme hidup, atau humus, dan dalam produk antara dekomposisi bahan organik atau humus dibangun. Proses siklus nitrogen mengubah nitrogen dari satu bentuk kimia lain. Banyak proses yang dilakukan oleh mikroba baik untuk menghasilkan energi atau menumpuk nitrogen dalam bentuk yang dibutuhkan untuk pertumbuhan.

1) Fiksasi Nitrogen

Fiksasi nitrogen adalah proses alam, biologis atau abiotik yang mengubah nitrogen di udara menjadi ammonia (NH_3). Mikroorganisme yang memfiksasi nitrogen disebut *diazotrof*. Mikroorganisme ini memiliki *enzim nitrogenase* yang dapat menggabungkan hidrogen dan nitrogen.

Mikroorganisme yang melakukan fiksasi nitrogen antara lain: *Cyanobacteria*, *Azotobacteraceae*, *Rhizobia*, *Clostridium*, dan *Frankia*. Selain itu, ganggang hijau biru juga dapat memfiksasi nitrogen. Beberapa tanaman yang lebih tinggi, dan beberapa hewan (rayap), telah membentuk asosiasi (simbiosis) dengan *diazotrof*. Selain dilakukan oleh mikroorganisme, fiksasi nitrogen juga terjadi pada proses non-biologis, contohnya sambaran petir.

2) Asimilasi

Tanaman mendapatkan nitrogen dari tanah melalui absorpsi akar baik dalam bentuk ion nitrat atau ion amonium. Sedangkan hewan memperoleh nitrogen dari tanaman yang mereka makan. Tanaman dapat menyerap ion nitrat atau amonium dari tanah melalui rambut akarnya. Jika nitrat diserap, pertama-tama direduksi menjadi ion nitrit dan kemudian ion amonium untuk dimasukkan ke dalam asam

amino, asam nukleat, dan klorofil. Pada tanaman yang memiliki hubungan mutualistik dengan *rhizobia*, nitrogen dapat berasimilasi dalam bentuk ion amonium langsung dari nodul. Hewan, jamur, dan organisme heterotrof lain mendapatkan nitrogen sebagai asam amino, nukleotida dan molekul organik kecil.

3) Amonifikasi

Jika tumbuhan atau hewan mati, nitrogen organik diubah menjadi amonium (NH_4^+) oleh bakteri dan jamur.

4) Nitrifikasi

Konversi amonium menjadi nitrat dilakukan terutama oleh bakteri yang hidup di dalam tanah dan bakteri nitrifikasi lainnya. Tahap utama nitrifikasi, bakteri nitrifikasi seperti spesies *Nitrosomonas* mengoksidasi amonium (NH_4^+) dan mengubah amonia menjadi nitrit (NO_2^-). Spesies bakteri lain, seperti *Nitrobacter*, bertanggung jawab untuk oksidasi nitrit menjadi dari nitrat (NO_3^-). Proses konversi nitrit menjadi nitrat sangat penting karena nitrit merupakan racun bagi kehidupan tanaman.

5) Denitrifikasi

Denitrifikasi adalah proses reduksi nitrat untuk kembali menjadi gas nitrogen (N_2), untuk menyelesaikan siklus nitrogen. Proses ini dilakukan oleh spesies bakteri seperti *Pseudomonas* dan *Clostridium* dalam kondisi anaerobik. Mereka menggunakan nitrat sebagai akseptor elektron di tempat oksigen selama respirasi. Fakultatif anaerob bakteri ini juga dapat hidup dalam kondisi aerobik.

6) Oksidasi Amonia Anaerobik

Dalam proses biologis, nitrit dan amonium dikonversi langsung ke elemen (N_2) gas nitrogen. Proses ini membentuk sebagian besar dari konversi nitrogen unsur di lautan. Reduksi dalam kondisi anoxic

juga dapat terjadi melalui proses yang disebut oksidasi amonia anaerobic.

Persenyawaan nitrogen anorganik berasal dari luar maupun dibentuk dalam perairan itu sendiri. Persenyawaan nitrogen anorganik seperti amoniak, nitrit dan nitrat sangat penting dalam menentukan produktivitas suatu komunitas. Semua jenis anorganik ini konsentrasinya sangat kecil. Unsur ini khususnya nitrat dapat digunakan oleh tumbuh-tumbuhan, terutama oleh bermacam-macam algae hijau sebagai produsen primer yang merupakan salah satu komponen rantai makanan di perairan.

Nitrogen yang terikat dalam persenyawaan organik dikembalikan ke lingkungan terutama melalui perombakan dan sedikit oleh ekskresi hewan. Amoniak merupakan hasil perombakan terutama dari protein tumbuh-tumbuhan dan hewan. Amoniak bebas di perairan berasal dari perombakan bahan organik dan “deaminasi” protein. Jika ada oksigen, amoniak segera dirubah oleh bakteri nitrat dan dapat larut dalam air serta masuk ke tanah. Oleh karena itu air tanah dan mata air yang belum tercemar, umumnya mengandung nitrat hingga beberapa mg/l.

Hasil penelitian Triyatmo (2001), kadar nitrogen dalam waduk Sermo bahwa Kadar NH_3 , NH_4^+ , NO_3^- dan N total dalam perairan waduk Sermo masing-masing berkisar antara 0,0025-0,2446 ppm (rata-rata 0,0391 ppm); 0,3401- 1,3581 ppm (rata-rata 0,5125 ppm); 0,2800-7,0624 ppm (rata-rata 1,5116 ppm) dan 0,30-11,50 ppm (1,54 ppm). Kandungan O_2 terlarut cukup tersedia untuk proses oksidasi (nitrifikasi), sehingga transformasi N dalam perairan waduk Sermo kelihatannya ke arah pembentukan NO_3^- . Kadar NH_3 air masih dibawah batas ambang untuk mengganggu kehidupan ikan. Kadar

NH_4^+ dan NO_3^- tersedia banyak untuk mendukung kehidupan fitoplankton.

b. Posfor

Unsur hara P merupakan salah satu unsur hara yang penting disamping N, untuk metabolisme sel dalam plankton atau tanaman air. Posfor memainkan peran utama di dalam metabolisme biologis. Dibandingkan dengan mikronutrien lain yang dibutuhkan oleh biota. Fosfor memiliki kelimpahan minimum dan umumnya merupakan unsur pertama pembatas produktivitas biologis. Banyak data kuantitatif yang berasal dari penyebaran fosfor musiman dan ruang di sungai-sungai dan danau, serta laju muatan terhadap perairan penerima dari drainase cekungan.

Hara P dalam bentuk ortofosfat (PO_4) sifatnya larut dalam air dan dapat dimanfaatkan oleh fitoplankton dan tanaman air. Unsur hara P umumnya sebagai faktor pembatas atau penentu dalam tingkat kesuburan perairan, baru kemudian hara N. Pada umumnya kandungan fosfat dalam perairan umum tidak pernah lebih dari 0,1 ppm, kecuali jika ada penambahan dari air buangan atau daerah pertanian (Lund, 1971 cit. Krismono dkk., 1987). Di dalam air, fosfat dapat membentuk persenyawaan dengan ion-ion logam. Persenyawaan ini tergantung pH air. Pada pH asam, fosfat bersenyawa dengan ion Al^{3+} dan Fe^{3+} , sedangkan pada pH alkalis fosfat bersenyawa dengan ion Ca^{2+} . Pada perairan dengan pH agak netral (6 - 7), fosfat lebih tersedia untuk dimanfaatkan oleh fitoplankton dan tanaman air. Kandungan fosfat di perairan waduk Sermo berkisar antara tidak terdeteksi - 1,0500 ppm (rata-rata 0,1232

ppm). Fosfat air umumnya dalam jumlah sedikit dan segera dimanfaatkan untuk pertumbuhan fitoplankton.

Fosfat dalam ekosistem perairan dapat terdapat dalam bentuk senyawa organik seperti protein ataupun gula, sebagian dalam bentuk kalsium fosfat (CaPO_4) dan besi fosfat (FePO_4) anorganik. Fosfat tersedia melimpah dalam perairan dalam bentuk ortofosfat. Senyawa anorganik ini dihasilkan oleh bakteri melalui pemecahan fosfat organik dari organisme yang mati.

Fosfat dalam ekosistem perairan digunakan oleh phytoplankton untuk pertumbuhan. Perairan kondisi kandungan fosfat rendah, phytoplankton akan mengeluarkan enzim alkaline fosfatase yang akan mengikat fosfat bebas menjadi fosfat organik. Sumber fosfat dalam perairan menggenang dapat berasal dari sungai yang membawa fosfat dari erosi, limbah pertanian, rumah tangga dan limbah industri

Fosfat dalam ekosistem perairan tidak diperlukan dalam jumlah yang besar seperti oksigen, nitrogen maupun karbon, tetapi fosfat sering menjadi faktor pembatas bagi pertumbuhan plankton. Kondisi ini disebabkan karena fosfat dalam ekosistem perairan tidak pernah ditemukan dalam bentuk gas sehingga tidak ada fiksasi seperti pada nitrogen dan juga fosfat sangat reaktif membentuk ikatan yang kuat di dalam substrat.

Sumber Fosfor berasal dari pelapukan batuan mineral seperti : fluorapatite [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$], hydroxylapatite [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$], strengite [$(\text{Fe}(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$], white lockite [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_2$], berlinite (AlPO_4), Dekomposisi bahan organik, penggunaan deterjen dan limbah industri dan domestik serta dari penggunaan pupuk dari lahan pertanian

Bentuk fosfor di perairan fosfor ditemukan dalam bentuk anorganik terlarut (ortofosfat dan polifosfat) dan anorganik. Ortofosfat :

trisodium fosfat (Na_2PO_4), disodium fosfat (Na_2HPO_4), monosodium fosfat (NaH_2PO_4); Polifosfat : sodium hexametafosfat ($(\text{Na}_3\text{PO}_4)_6$), sodium tripolifosfat ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$), tetrasodium pirofosfat ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$)

Berdasarkan kadar ortofosfat perairan diklasifikasikan menjadi : (a). Perairan oligotrofik yang memiliki kadar 0,003-0,01 mg/liter; (b). Perairan mesotrofik yang memiliki kadar 0,011-0,03 mg/liter; (c) Perairan eutrofik yang memiliki kadar 0,031-0,1 mg/liter. Sedangkan berdasarkan kadar fosfat total diklasifikasikan menjadi : (a) Kesuburan rendah kadar fosfat 0 - 0,02 mg/liter; (b) Kesuburan sedang kadar fosfat 0,21 - 0,05 mg/liter; dan (c) Kesuburan tinggi kadar fosfat 0,010 - 0,1 mg/liter

Peranan fosfor, digunakan sebagai pupuk, sabun atau deterjen, bahan industri keramik, minyak pelumas, produk minuman dan makanan, katalis, dalam industri polifosfat ditambahkan secara langsung untuk mencegah terjadinya pembentukan karat dan korosi pada peralatan logam. Berperan dalam transfer energi dalam sel yang terdapat pada ATP dan ADP. Dalam bentuk ortofosfat dimanfaatkan secara langsung oleh tumbuhan akuatik

Orthofosfat (PO_4^{3-}) merupakan bentuk fosfat anorganik terlarut yang secara langsung dapat digunakan. Fosfat reaktif secara ekstrim dan berinteraksi dengan berbagai kation (seperti Fe, Ca) yang membentuk terutama pada kondisi tersedianya (oksid) senyawa yang secara relatif tidak terlarut yang akan mengendap dan keluar dari badan air. Ketersediaan fosfat juga menurun karena adsorpsi menjadi senyawa anorganik koloid dan partikulat (seperti liat, karbonat, hidroksid).

Fosfor dengan proporsi yang cukup besar di perairan tawar, terikat dalam fosfat organik dan sel-sel mpenyusun organisme hidup atau mati, serta di dalam atau diabsorbsi menjadi koloid organik.

Kisaran total fosfor di perairan tawar cukup besar, dari $<5 \text{ ug l}^{-1}$ pada perairan yang sangat tidak produktif, sampai $> 100 \text{ ug l}^{-1}$ di perairan sangat eutrofik. Sebagian besar perairan tawar yang tidak terkontaminasi mengandung fosfor antara $10\text{-}50 \text{ ug total P l}^{-1}$.

Konsentrasi fosfor terlarut dan total danau oligotrofik menunjukkan variasi yang kecil dengan meningkatnya kedalaman, sedangkan di danau eutrofik dengan profil oksigen elinograde yang kuat, pada umumnya menunjukkan suatu peningkatan yang sangat jelas kandungan fosfor di hipolimnion bagian bawah. Bentuk fosfor yang meningkat di hipolimnion, sebagian besar dalam bentuk terlarut, pada bagian yang dekat antarmuka air-sedimen.

Pertukaran fosfor melintasi antarmuka air-sedimen diatur oleh interaksi reduksi-oksidasi (redox; redoks), yang tergantung pada pasokan oksigen, kelarutan mineral, mekanisme sorptif, aktivitas metabolisme bakteri dan fungi, serta turbulensi dari aktivitas biotik dan fisik. Secara keseluruhan, tapi pada beberapa millimeter di atas sedimen, pertukaran cukup lambat dan dikendalikan oleh laju difusi yang rendah pula. Jika air di atas sedimen dioksidasi (sekitar $> 1 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$), suatu wilayah mikrosecara efektif mencegah fosfor(yang terlarut dibawah kondisi tereduksi di dalam sedimen) dari migrasi melalui difusi kearah permukaan ke dalam kolom air. Dengan menjadi anoxicnya hipolimnion di danau eutrofik, wilayah mikro yang teroksidasi hilang. Sehingga terjadi pelepasan yang cepat fosfat dan besi fero ke dalam air ketika kondisi reduksi mencapai suatu potensial redox (Ey) sekitar 200 mv.

Fosfor terlarut dapat terakumulasi dalam jumlah yang cukup besar di hipolimnion anaerob. Dengan adanya sirkulasi musim gugur, besi ferro dengan segera dioksidasi dan mengendapkan banyak fosfat sebagai ferri fosfat. Metabolisme bakteri dari bahan organik merupakan mekanisme utama konversi fosfor organik menjadi fosfat didalam sedimen, serta menciptakan kondisi tereduksi yang diperlukan untuk pelepasan fosfat ke dalam air. Pergerakan fosfor dari air di celah-celah sedimen dapat dipercepat oleh turbulensi fisik dan oleh biota.

Tumbuhan air mendapatkan fosfornya dari sedimen dan dapat melepaskannya dalam jumlah yang cukup besar ke dalam air, baik selama, pertumbuhan aktif maupun selama proses menua dan mati. Kepadatan populasi invertebrata penghuni sedimen yang tinggi, seperti larva midge (serangga air), dapat meningkatkan pertukaran fosfor melintasi antarmuka air sedimen.

Studi siklus fosfor yang terbaru di wilayah trofogenik menunjukkan bahwa pertukaran fosfor diantara berbagai bentuknya seringkali cepat, dan meliputi sejumlah lintasan yang kompleks. Sebagian besar, sering diatas 95%, fosfor organik dari seston perairan terbuka, minimal terdiri dari dua fraksi utama.

Fraksi yang bersiklus cepat, yang bertukar dalam bentuk-bentuk terlarut. Pada fraksi ini, fosfat segera ditransfer melalui partikel menjadi senyawa dengan besi molekul rendah. Fraksi fosfor organik terlarut dan koloid. Dilepaskan dan bersiklus dengan laju yang lebih lambat.

Pengambilan fosfor dan kinetika perputarannya pada sejumlah danau menunjukkan laju perputaran yang sangat cepat (5 – 100 min) selama periode musim panas. Dengan kebutuhan tinggi dan muatan masukan rendah. Selama periode musim dingin, laju perputaran

menjadi besar dua kali tingkat dari laju perputaran yang lebih lambat. Laju perputaran fosfor umumnya lebih cepat pada kondisi yang lebih oligotrof pada kondisi defisiensi fosfor lebih besar.

Zooplankton yang memangsa makanan dari seston, mengeksresikan fosfor dan ammonia. Unsur hara tersebut dengan segera digunakan oleh alga dan bakteri. Pada saat pasokan fosfor rendah, sumber fosfor yang bersiklus ini dapat menjadi kritis untuk pertumbuhan dan suksesi fitoplankton.

Kebutuhan fosfor bervariasi diantara spesies alga dan menuju pada selektivitas yang menguntungkan untuk alga tertentu. Selektivitas tersebut sejalan dengan perubahan pasokan secara musiman, atau sebagaimana muatan fosfor pada suatu perairan tawar yang berubah dalam periode waktu yang lebih panjang. Alga harus bersaing dengan bakteri untuk kebutuhan fosfornya. Jika substrat organik untuk pertumbuhan bakteri cukup tinggi, pertumbuhan alga dapat terhambat secara serius.

Sedimentasi partikel mengakibatkan kehilangan fosfor secara konstan dari wilayah trofogenik. Dengan demikian harus ada pasokan fosfor baru yang memasuki ekosistem, dalam tahap untuk mempertahankan atau meningkatkan produktivitas.

Fosfor memasuki perairan tawar melalui presipitasi atmosfer, dari impasan permukaan, dan dari air tanah. Laju muatan fosfor bervariasi luas dengan pola tata gulna lahan, geologi, dan morfologi drainase cekungan, aktivitas manusia, pencemaran, dan faktor-faktor lainnya.

Ketika fosfor ditambahkan pada perairan tawar yang tidak produktif, secara eksperimen ataupun akibat kegiatan manusia, respon yang biasa terjadi adalah peningkatan yang cepat produktivitas alga. Meskipun demikian, pasokan harus berkesinambungan, untuk

mempertahankan produktivitas pada level yang lebih tinggi. Sejumlah model keseimbangan massa telah dikembangkan untuk memprediksi berdasar muatan fosfor dan waktu penahanannya (retention time) respon antisipasi biomassa alga dan produktivitasnya. Model prediksi menduga dengan cukup akurat dan layak, muatan fosfor yang mungkin dibutuhkan untuk mencapai produktivitas tertentu, atau menduga level produktivitas jika muatan diturunkan.

Di danau-danau tertentu yang dangkal dengan turbulensi yang lebih besar dari rata-rata, wilayah litoral yang luas, dan hipolimnia anaerobic cukup kecil, penurunan produktivitas tidak selalu terjadi secara cepat dalam respon menurunnya muatan, sebagaimana yang diprediksi dari model. Di danau-danau tersebut, pelepasan fosfor dari sumber sedimen (muatan internal) jauh lebih besar (10-30% muatan total) daripada danau-danau yang lebih dalam, dan lebih berstratifikasi.

Di alam, fosfor terdapat dalam dua bentuk, yaitu senyawa fosfat organik (pada tumbuhan dan hewan) dan senyawa fosfat anorganik (pada air dan tanah). Fosfat organik dari hewan dan tumbuhan yang mati diuraikan oleh decomposer (pengurai) menjadi fosfat anorganik. Fosfat anorganik yang terlarut di air tanah atau air laut akan terkikis dan mengendap di sedimen laut. Oleh karena itu, fosfat banyak terdapat di batu karang dan fosil. Fosfat dari batu dan fosil terkikis dan membentuk fosfat anorganik terlarut di air tanah dan laut.

Fosfor muncul pada bagian yang beragam di dalam lingkungan perairan, beberapa muncul dalam bentuk susunan organik seperti protein dan gula, beberapa juga muncul dalam bentuk kalsium organik dan sebagian dalam bentuk inorganik dan partikel besi fosfat, lalu juga dalam bentuk fosfat terlarut, walaupun fosfor muncul dalam konsentrasi dibawah nitrogen, tapi pada kenyataanya fosfor dapat

dengan mudah dibuat atau tersedia di dalam atau tersedia di dalam zona penetrasi cahaya yang mencegah fosfor menjadi faktor pembatas di dalam produktifitas perairan.

Fosfat dalam perairan berbentuk ion fosfat. Ion fosfat dibutuhkan pada proses fotosintesis dan proses lainnya dalam tumbuhan (bentuk ATP dan Nukleotid koenzim). Penyerapan dari fosfat dapat berlangsung terus walaupun dalam keadaan gelap. Ortofosfat (H_3PO_4) adalah bentuk fosfat anorganik yang paling banyak terdapat dalam siklus fosfat. Distribusi bentuk yang beragam dari fosfat di air laut dipengaruhi oleh proses biologi dan fisik. Dipermukaan air, fosfat di angkut oleh fitoplankton sejak proses fotosintesis.

Konsentrasi fosfat di atas $0,3 \mu\text{m}$ akan menyebabkan kecepatan pertumbuhan pada banyak spesies fitoplankton. Untuk konsentrasi dibawah $0,3 \mu\text{m}$ ada bagian sel yang cocok menghalangi dan sel fosfat kurang diproduksi. Mungkin hal ini tidak akan terjadi di laut sejak NO_3 selalu habis sebelum PO_4 jatuh ke tingkat yang kritis. Pada musim panas, permukaan air mendekati 50% seperti organik-P. Di laut dalam kebanyakan P berbentuk inorganik. Di musim dingin hampir semua P adalah inorganik. Variasi di perairan pantai terjadi karena proses upwelling dan kelimpahan fitoplankton. Pencampuran yang terjadi dipermukaan pada musim dingin dapat disebabkan oleh bentuk linear di air dangkal. Setelah musim dingin dan musim panas kelimpahan fosfat akan sangat berkurang.

Di perairan unsur fosfor tidak ditemukan dalam bentuk bebas sebagai elemen, melainkan dalam bentuk senyawa anorganik yang terlarut (ortofosfat dan polifosfat) dan senyawa organik yang berupa partikulat. Senyawa fosfor membentuk kompleks ion besi dan kalsium

pada kondisi aerob, bersifat tidak larut, dan mengendap pada sedimen sehingga tidak dapat dimanfaatkan oleh algae akuatik.

Keberadaan Fosfor di dalam perairan, berada dalam bentuk senyawa organik dan anorganik. Dalam bentuk senyawa organik, fosfor dapat berupa gula fosfat dan hasil oksidasinya, nukleoprotein dan fosfo protein. Sedangkan dalam bentuk senyawa anorganik meliputi ortofosfat dan polifosfat. Senyawa anorganik fosfat dalam air laut pada umumnya berada dalam bentuk ion (orto) asam fosfat (H_3PO_4), dimana 10% sebagai ion fosfat dan 90% dalam bentuk HPO_4^{2-} . Fosfat merupakan unsur yang penting dalam pembentukan protein dan membantu proses metabolisme sel suatu organisme.

Fosfor merupakan bahan makanan utama yang digunakan oleh semua organisme untuk pertumbuhan dan sumber energi. Fosfor di dalam air laut, berada dalam bentuk senyawa organik dan anorganik. Dalam bentuk senyawa organik, fosfor dapat berupa gula fosfat dan hasil oksidasinya, nukleoprotein dan fosfo protein. Sedangkan dalam bentuk senyawa anorganik meliputi ortofosfat dan polifosfat. Senyawa anorganik fosfat dalam air laut pada umumnya berada dalam bentuk ion (orto) asam fosfat (H_3PO_4), dimana 10% sebagai ion fosfat dan 90% dalam bentuk HPO_4^{2-} . Fosfat merupakan unsur yang penting dalam pembentukan protein dan membantu proses metabolisme sel suatu organisme

Diperairan, bentuk unsur fosfor berubah secara terus menerus akibat proses dekomposisi dan sintesis antara bentuk organik, dan bentuk anorganik yang dilakukan oleh mikroba. Semua polifosfat mengalami hidrolisis membentuk ortofosfat. Perubahan ini bergantung pada suhu yang mendekati titik didih, perubahan polifosfat menjadi ortofosfat berlangsung cepat. Kecepatan ini meningkat dengan

menurunnya nilai pH. Perubahan polifosfat menjadi ortofosfat pada air limbah yang mengandung banyak bakteri lebih cepat dibandingkan dengan perubahan yang terjadi pada air bersih.

Keberadaan fosfor perairan alami biasanya relative kecil, dengan kadar yang lebih sedikit dari pada kadar nitrogen. Fosfor tidak bersifat toksik bagi manusia, hewan, dan ikan. Keberadaan fosfor secara berlebihan yang disertai dengan keberadaan nitrogen dapat menstimulir ledakan pertumbuhan algae di perairan (algaeblooming). Algae yang berlimpah ini dapat membentuk lapisan pada permukaan air, yang selanjutnya dapat menghambat penetrasi oksigen dan cahaya matahari sehingga kurang menguntungkan bagi ekosistem perairan. Pada saat perairan cukup mengandung fosfor, algae mengakumulasi fosfor di dalam sel melebihi kebutuhannya. Fenomena yang demikian dikenal istilah konsumsi berlebih (luxury consumption). Kelebihan fosfor yang diserap akan dimanfaatkan pada saat perairan mengalami defisiensi fosfor, sehingga algae masih dapat hidup untuk beberapa waktu selama periode kekurangan pasokan fosfor (Effendi 2003). Hasil penelitian kadar Fosfat air waduk Sermo lebih besar dari 0,1 mg/liter, kemungkinan berasal dari daerah kiri kanan aliran sungai yang digunakan untuk kegiatan pertanian (Triyatmo, 2001).

Berdasarkan kadar fosfat total, perairan diklasifikasikan menjadi tiga yaitu: perairan dengan tingkat kesuburan rendah yang memiliki kadar fosfat total berkisar antara 0 – 0,02 mg/liter; perairan dengan tingkat kesuburan sedang memiliki kadar fosfat 0.021 – 0.05 mg/liter; dan perairan dengan tingkat kesuburan tinggi, memiliki kadar fosfat total 0.051 – 0.1 mg/liter (Effendi, 2003).

Senyawa fosfor di alam terbagi dalam dua yaitu, senyawa fosfat organik (pada hewan dan tumbuhan) dan senyawa fosfat anorgani

(pada air dan tanah). fosfat organik yang terdapat dalam hewan dan tumbuhan yang mati akan diuraikan oleh decomposer dan menjadi fosfat anorganik. Lalu fosfat yang terlarut di air tanah atau di air laut akan mengendap di sedimen laut. Setelah itu fosfat yang dari batuan itu akan terkikis lalu akan terserap lagi oleh tumbuhan.

Fosfor adalah salah satu jenis elemen penting dalam kehidupan, hal ini disebabkan karena semua makhluk hidup akan membutuhkan fosfor dalam bentuk ATP (Adenosin Tri Fosfat), Adenosin Tri Fosfat sendiri nantinya akan digunakan sebagai sumber energi untuk metabolisme sel. fosfor banyak terdapat di alam yang masih berbentuk-bentuk ion fosfat (PO_4^{3-}). Ion Fosfat pada umumnya terdapat dalam bebatuan. Akibat terjadinya peristiwa erosi dan pelapukan memungkinkan fosfat terbawa menuju sungai bahkan hingga laut yang membentuk sedimen. Terjadinya pergerakan dasar bumi memicu sedimen yang mengandung fosfat naik ke permukaan. Tumbuhan pada umumnya mengambil fosfat yang masih terlarut dalam air tanah.

Fosfat anorganik ini kemudian akan diserap oleh akar tumbuhan lagi. Siklus ini berulang terus menerus. Fosfor dialam dalam bentuk terikat sebagai Ca-fosfat, Fe- atau Al-fosfat, fitat atau protein. Bakteri yang berperan dalam siklus fosfor: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Aerobacter aerogenes*, *Xanthomonas*, dll. Mikroorganisme (*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Aerobacter aerogenes*) dapat melarutkan P menjadi tersedia bagi tanaman.

Fosfor juga melengkapi makhluk hidup jenis Herbivora, dimana mereka mendapatkan fosfat dari tumbuhan yang dikonsumsi serta karnivora mendapatkan fosfat dari makhluk hidup herbivora yang dimakannya. Seluruh hewan nantinya akan mengeluarkan fosfat

melalui feses dan urin. Jamur dan bakteri berperan menguraikan bahan-bahan anorganik di dalam tanah dan selanjutnya akan melepaskan pospor, pospor yang dihasilkan oleh bakteri pengurai nantinya akan diambil oleh tumbuhan.

Fosfor sering dianggap sebagai faktor yang sangat menentukan dalam mempertahankan siklus biokimia. Hal ini didasarkan atas kenyataan bahwa fosfor sangat diperlukan dalam transfer energy dalam sel dan biasanya terdapat di perairan dalam jumlah sedikit. Hal ini sering menyebabkan definisi zat hara yang dapat menekan pertumbuhan fitoplankton yang akhirnya mengurangi produktivitas perairan. Fosfor terdapat dalam berbagai persenyawaan yang penting adalah, fosfat yang larut. Fosfor organik yang larut serta fosfor organik yang melayang-layang sebagai seston. Air danau oligotroph sering mengandung fosfor anorganik kurang dari sepersepuluh ribu milligram per liter. Jumlah zat hara di hypolimnion amat banyak, terutama di danau eutroph. Sebagai contoh danau eutroph. Sebagai contoh danau eutroph yaitu danau Ranu Lamongan Jawa Timur yang merupakan danau vulkanis dengan lebar 750m dan dalamnya 28m mengandung 1400 kg fosfor dan 12000 kg nitrogen. Hal ini akan memberikan harapan yang baik bila air untuk mengairi sawah diambil dari daerah hypolimnion suatu danau.

9.2. Unsur Hara Mikro (*Trace elemen*)

Unsur hara mikro umumnya esensial atau sangat dibutuhkan oleh organisme nabati dalam jumlah kecil tetapi dapat merupakan faktor pembatas. Unsur mikro ini berfungsi dalam aktivitas enzim. Beberapa jenis unsur hara mikro:

Besi (Fe) Besi dan mangan merupakan unsur hara mikro yang esensial bagi flora dan fauna air tawar. Di bawah kondisi tertentu

ketersediannya terbatas, sehingga dapat membatasi pula produktivitas fotosintesis. Mangan dengan jelas terlibat didalam suksesi musiman populasi alga tertentu.

Bakteri kemosintesis tertentu dapat menggunakan energi dari oksidasi anorganik garam-garam besi dan mangan, dalam reaksi yang melibatkan fiksasi CO_2 , namun relatif secara tidak efisien. Bakteri autotrof dan heterotrof lainnya yang dapat mengoksidasi besi, menimbun besi dan mangan oksida. Bakteri-bakteri tersebut terbatas pada wilayah dengan tahap gradien redoks diantara ion-ion metal yang tereduksi dan air yang teroksigenasi.

Informasi kuantitatif dinamika unsur hara mikro metalik lainnya seperti seng, tembaga, kobalt, molibdenum, vanadium, dan selenium sangat terbatas. Ketersediaan unsur hara mikro dipengaruhi oleh kondisi redoks dan luas kemajemukan (kompleksitas) dengan senyawa organik terlarut dan ion-ion anorganik lainnya.

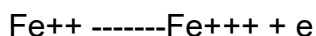
Di sebagian besar perairan alami, konsentrasi dan ketersediaan unsur hara mikro, biasanya mencukupi untuk memenuhi kebutuhan metabolisme dalam ketersediaan cahaya, suhu, dan unsur hara makro yang terbatas. Beberapa kasus yang jelas pembatasan produktivitas fotosintesisnya terjadi karena kekurangan unsur hara mikro, atau ketidaktersediaan fisiologis.

Dinamika tembaga, mirip dengan besi, sangat dipengaruhi kondisi redoks. Dinamika kobalt, seng dan molibdenum berkaitan lebih erat dengan metabolisme mikroba dan kemajemukan dengan senyawa organik yang kurang efektif. Molibdenum memperlihatkan mobilitas yang lebih tinggi dibanding ion-ion unsur hara mikro lainnya. Meningkatnya pasokan berbagai unsur hara langka ke perairan tawar,

merupakan akibat dari pencemaran industri dan emisi pembakaran ke atmosfer, yang selanjutnya jatuh akibat melalui presipitasi.

Keberadaan besi pada kerak bumi menempati posisi keempat terbesar. Kadar besi perairan alami berkisar antara 0,05-0,2 mg/liter. Sumber besi di alam adalah pyrite (FeS), hematite (Fe₂O₃), magnetite (Fe₃O₄), limonite [(FeO(OH))₃]. Besi ditemukan dalam bentuk kation ferro (Fe²⁺), ochre [Fe(OH)₃]. Pada perairan alami, besi berikatan dengan anion membentuk senyawa FeCl, Fe(HCO₃) dan Fe(SO₄). Kadang terdapat sebagai senyawa siderite (FeCO₃) yang bersifat mudah larut dalam air

Hubungan pH dengan Fe, pada pH dan kadar oksigen terlarut cukup, ion ferro yang bersifat mudah larut dioksidasi menjadi ion ferri terjadi pelepasan electron, reaksinya adalah :

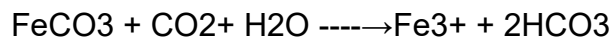


Sebaliknya, pada reduksi ferri menjadi ferro terjadinya penangkapan electron. Proses oksidasi dan reduksi besi tidak melibatkan oksigen dan nitrogen tetapi melibatkan bakteri sebagai mediator. Bakteri kemosis, thiobacillus dan ferrobacillus memiliki suatu enzim yang dapat mentransfer electron dari ion ferro kepada oksigen

Pada pH 7,5-7,7 ion ferri mengalami oksidasi dan berikatan dengan hidroksida membentuk Fe (OH)₃ yang bersifat tidak larut dan mengendap (presipitasi) di dasar perairan • Membentuk warna kemerahan pada substrat dasar • Besi hanya ditemukan pada perairan yang berada dalam kondisi anaerob (anoksik) dan suasana asam

Jika pH rendah, oksigen terlarut rendah (suasana anaerob) sejumlah ferri (presipitasi) di dasar perairan, membentuk warna kemerahan pada substrat dasar.. Besi hanya ditemukan pada perairan

yang berada dalam kondisi anaerob (anoksik) dan suasana asam. Jika pH rendah, oksigen terlarut rendah (suasana anaerob) sejumlah ferri karbonat akan larut sehingga terjadi peningkatan kadar besi ferro (Fe^{2+}) di perairan, reaksinya adalah :



Besi hanya ditemukan pada perairan yang bersifat anaerob akibat proses dekomposisi bahan organik yang berlebihan, artinya besi tinggi bahan organik tinggi • Kadar besi pada perairan alami berkisar 0,05-0,2 mg/liter Besi adalah merupakan salah satu unsur mikro yang paling reaktif dan paling vital bagi makhluk hidup. Dalam system peredaran darah, dengan kadar tertentu besi berada dalam sel darah merah (Erythrocyte) dan bertugas untuk mengikat Oksigen (O_2) yang sangat penting bagi proses pembakaran yang terjadi dalam sel tubuh.

Di danau oligotrofik, kekurangan satu atau lebih trace elemen menghambat pertumbuhan alga. Apabila dalam konsentrasi tinggi dalam bentuk ion unchelated menyebabkan toksik bagi tumbuhan dan hewan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kelarutan Fe dalam Air adalah:

1) Kedalaman

Air hujan yang turun jatuh ke tanah dan mengalami infiltrasi masuk ke dalam tanah yang mengandung FeO akan bereaksi dengan H_2O dan CO_2 dalam tanah dan membentuk $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ dimana semakin dalam air yang meresap ke dalam tanah semakin tinggi juga kelarutan besi karbonat dalam air tersebut.

2) Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) air akan terpengaruh terhadap kesadahan kadar besi dalam air, apabila pH air rendah akan berakibat terjadinya proses korosif sehingga menyebabkan larutnya besi dan logam lainnya dalam air, pH yang rendah kurang dari 7 dapat melarutkan logam. Dalam keadaan pH rendah, besi yang ada dalam air berbentuk ferro dan ferri, dimana bentuk ferri akan mengendap dan tidak larut dalam air serta tidak dapat dilihat dengan mata sehingga mengakibatkan air menjadi berwarna, berbau dan berasa.

3) Suhu

Suhu adalah temperatur udara. Temperatur yang tinggi menyebabkan menurunnya kadar O_2 dalam air, kenaikan temperatur air juga dapat mengguraikan derajat kelarutan mineral sehingga kelarutan Fe pada air tinggi.

Besi dalam air berbentuk ion bervalensi dua (Fe^{2+}) dan bervalensi tiga (Fe^{3+}). Dalam bentuk ikatan dapat berupa Fe_2O_3 , $Fe(OH)_2$, $Fe(OH)_3$ atau $FeSO_4$ tergantung dari unsur lain yang mengikatnya. Dinyatakan pula bahwa besi dalam air adalah bersumber dari dalam tanah sendiri di samping dapat pula berasal dari sumber lain, diantaranya dari larutnya pipa besi, reservoir air dari besi atau endapan-endapan buangan industri.

Besi terlarut dalam air dapat berbentuk kation ferro (Fe^{2+}) atau kation ferri (Fe^{3+}). Hal ini tergantung kondisi pH dan oksigen terlarut dalam air. Besi terlarut dapat berbentuk senyawa tersuspensi, sebagai butir koloidal seperti $Fe(OH)_3$, FeO , Fe_2O_3 dan lain-lain. Konsentrasi

besi terlarut yang masih diperbolehkan dalam air bersih adalah sampai dengan 0,1 mg/l.

Peranan besi pada tumbuhan, besi berperan sebagai penyusun sitokrom dan khlorofil. Berperan dalam sistem enzim dan transfer elektron pada proses fotosintesis. Digunakan dalam kegiatan pertambangan, industri kimia, bahan celupan, tekstil, penyulingan minyak.

Sulfur merupakan salah satu elemen esensial bagi makhluk hidup karena merupakan elemen penting dalam protoplasma. Kerak bumi mengandung sulfur sekitar 260 mg/kg. Kadar sulfur pada perairan alami berkisar antara 2-80 mg/liter

Sumber alami sulfur adalah bravoite $[(\text{Ni}, \text{Fe})\text{S}_2]$, halcopyrite (Cu_2S), cubanite (CuFe_2S_3), gregite (Fe_3S_4), gipsun ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), molybdenite (MoS_2) dan Pyrite (FeS_2). Sumber sulfur di atmosfer adalah aktivitas bakteri yang melepaskan hydrogen sulfida, pembakaran bahan bakar fosil, yang melepaskan sulfur oksida, percikan air laut. Karena tiupan angin yang melepaskan sulfat, serta aktivitas vulkanik yang melepaskan hydrogen sulfida.

Sulfur berada dalam bentuk organik dan anorganik. Sulfur anorganik terutama terdapat dalam bentuk sulfat (SO_4^{2-}) yang merupakan bentuk sulfat utama di perairan dan tanah. Sulfur oksida (SO_2) dan hydrogen sulfida (H_2S) merupakan sulfur dalam bentuk gas yang biasa ditemukan di atmosfer. Di perairan, sulfur berikatan dengan ion hydrogen dan oksigen

Beberapa bentuk sulfur di perairan adalah sulfida (S^{2-}), hydrogen sulfide (H_2S), ferro sulfide (FeS), sulfur dioksida (SO_2), sulfit (SO_3), dan sulfat (SO_4). Sulfur yang berikatan dengan hydrogen membentuk asam sulfat, dan sulfat yang berikatan dengan logam

alkali merupakan bentuk sulfur yang paling banyak ditemukan di danau dan sungai

Siklus sulfur, Pembakaran bahan bakar fosil (batu bara dan minyak bumi) oleh kendaraan bermotor dan aktivitas industri yang berlangsung secara intensif memberikan kontribusi yang besar bagi pertumbuhan sulfur di atmosfer. Sulfur oksida (SO_2) dalam berbagai bentuk adalah bentukan sulfur yang banyak dilepaskan (diemisikan) oleh pembakaran bahan bakar fosil. Keberadaan sulfur oksida yang berlebihan di atmosfer dalam membentuk hydrogen sulfida yang bersifat asam.

Hubungan antara oksigen dengan sulfur (S). Reduksi (pengurangan oksigen dan penambahan hydrogen) anion sulfat menjadi hydrogen sulfida pada kondisi anaerob dalam proses dekomposisi bahan organik menimbulkan bau yang kurang sedap dan meningkatkan korositas logam. Hydrogen sulfida (H_2S) membentuk kesetimbangan dengan HS^- dan S^{2-} persamaannya :



Pada pH 9 sebagian besar sulfur berada dalam bentuk ion HS^- . Jumlah H_2S sangat sedikit dan bau tidak muncul.

Mangan (Mn) adalah kation logam yang memiliki karakteristik kimia serupa besi, kadarnya pada kerak bumi sekitar 950 mg/kg. Kadarnya pada perairan tawar antara 0,002mg/liter hingga lebih dari 4,0 mg/liter. Sumber mangan adalah pyrosulite (MnO_3), rhodochrosite (MnCO_3), manganite ($\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), hausmannite (Mn_3O_4), biotite mica [$\text{K}(\text{MgFe})$], [$\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$]. Bentuk mangan, berada dalam bentuk manganous (Mn^{2+}) dan manganik (Mn^{4+}) dalam tanah. Mn^{4+} berada dalam bentuk senyawa mangan dioksida. Pada perairan dengan kondisi anaerob akibat dekomposisi bahan organik dengan kadar yang

tinggi, Mn^{4+} pada senyawa mangan dioksida mengalami reduksi menjadi Mn^{3+} yang bersifat larut. Mn^{3+} berikatan dengan nitrat, sulfat dan klorida dan larut dalam air

Peranan mangan (Mn), Logam yang digunakan dalam industri baja, baterai, gelas, keramik, cat dan bahan celupan. Merupakan nutrisi esensial yang esensial bagi tumbuhan dan hewan. Pada tumbuhan, mangan merupakan unsur esensial dalam proses metabolisme. Meskipun tidak bersifat toksik, mangan dapat mengendalikan kadar unsur toksik di perairan

Seng (Zn) termasuk unsur yang terdapat dalam jumlah berlimpah di alam. Kadar seng pada kerak bumi sekitar 70 mg/kg, pada kerak bumi sekitar 70 mg/kg. Kadar seng pada perairan alami < 0,05 mg/liter. Sumber seng adalah colamine ($ZnCO_3$), sphalerite (ZnS), smithsonite ($ZnCO_3$) dan willemite (Zn_2SiO_4). Bentuk seng, kelarutan unsur seng dan oksida seng dalam air relatif rendah. Seng yang berikatan dengan klorida dan sulfat mudah larut, sehingga kadar seng dalam air sangat dipengaruhi oleh bentuk senyawanya. Ion seng mudah terserap dalam sedimen dan tanah

Peranan Seng, digunakan dalam industri besi, baja, cat, kawat, tekstil, kertas dan bubur kertas. Termasuk unsur yang esensial bagi makhluk hidup, yakni berfungsi untuk membantu kerja enzim. Diperlukan dalam proses fotosintesis sebagai agen bagi transfer hydrogen dan berperan dalam pembentukan protein

Kobalt merupakan logam berat yang memiliki karakteristik kimia sama dengan nikel, tetapi lebih mudah larut. Kadar pada kerak bumi sekitar 25 mg/kg. Pada perairan tawar alami memiliki kadar kobalt 0,001 mg/liter. Sumber alami kobalt adalah mineral limnaeite (Co_3S_4), carrollite ($CuCo_2S_4$), safflorite ($CoAs_2$), skutterudite [$(Co,Fe)As_3$] dan

erythrite $[\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$ • Bentuk kobalt, terdapat dalam bentuk bivalen atau trivalent • Ion kobalt (Co^{2+}) lebih stabil, sedangkan ion kobaltik (Co^{3+}) bersifat tidak stabil dan merupakan oksidator kuat

Peranan kobalt, digunakan dalam industri baterai, lampu tungsten, gelas serta dalam pembakaran minyak dan batu bara. Termasuk unsur renik yang dibutuhkan dalam pertumbuhan dan reproduksi tumbuhan dan hewan. Dibutuhkan oleh enzim sebagai koenzim yang berfungsi untuk mengikat molekul substrat. Ditemukan pada vitamin B12 yang dikenal dengan nama kobalamin. Hampir semua blue green algae membutuhkan kobalamin

Molibdenum (Mo) adalah kerak logam renik yang penyebarannya di alam sangat terbatas. Perairan tawar alami memiliki kadar kurang dari 1 mg/liter. Sumber molibdenum di alam adalah pelapukan batuan khususnya shales. Bentuk molybdenum terutama dalam bentuk senyawa molybdenite (MoS_2) dan molybdates (MoO_4^{2-}). Peranan molybdenum, termasuk unsur esensial yang berperan dalam proses oksidasi reduksi pada sistem enzim. Unsur yang penting bagi fiksasi nitrogen

Berperan dalam metabolisme nitrat menjadi asam amino yang merupakan komponen utama protein. Digunakan dalam industri besi, baja dan peralatan elektronik. Garam molibdenum digunakan dalam industri pembuatan gelas, keramik, pigmen, dan pupuk. Penggunaan pupuk yang mengandung molibdenum merupakan sumber utama Mo antropogenik di perairan

BAHAN ORGANIK TERLARUT DAN TIDAK TERLARUT DALAM PERAIRAN

Bahan organik atau biasa disebut BO, merupakan bahan-bahan yang dapat diperbaharui, atau didaur ulang, atau dirombak oleh bakteri-bakteri tanah menjadi unsur yang dapat digunakan oleh tanaman tanpa mencemari tanah dan air. Bahan organik tanah merupakan penimbunan dari sisi-sisa tanaman dan binatang yang sebagian telah mengalami pelapukan mengalami pelapukan dan pembentukan kembali. Bahan organik yang demikian di dalam pelapukan aktif dan menjadi mangsa serangan jasad mikro. Sebagai akibatnya bahan tersebut berubah terus dan tidak menetap, sehingga harus selalu diperbaharui melalui penambahan sisa-sisa tanaman atau binatang.

Dalam Limnologi bahan organik adalah bahan-bahan yang berasal dari hewan atau tumbuhan, yang merupakan bahan organik adalah karbohidrat, lemak dan protein. Bahan organik umumnya mengandung karbon, karbohidrat (C,H dan O), protein (C,H,O,N,S dan P). Bahan organik adalah kumpulan beragam senyawa-senyawa organik kompleks yang sedang atau telah mengalami proses dekomposisi, baik berupa humus hasil unifikasi maupun senyawa-senyawa anorganik hasil mineralisasi dan termasuk Juga mikro biaheterotrofik dan ototrofik yang terlibat dan berada di dalamnya. Semua bahan organik mengandung karbon (C) berkombinasi dengan satu atau lebih elemen lainnya.

Bahan organik dalam perairan darat dapat dibagi atas dua bagian yaitu: 1) Bahan organik terlarut yang berukuran $< 0.5 \mu\text{m}$. dan 2) Bahan organik tidak terlarut yang berukuran $> 0.5 \mu\text{m}$. Jumlah bahan organik terlarut dalam air laut biasanya melebihi rata-rata bahan organik tidak terlarut. Hanya berkisar 1/5 bahan organik tidak terlarut terdiri dari sel hidup. Semua bahan organik ini dihasilkan oleh organisme hidup melalui proses metabolisme dan hasil pembusukan. Adapun peranan bahan organik di dalam ekologi laut adalah sebagai berikut: 1) Sumber energi (makanan), 2) Sumber bahan keperluan bakteri, tumbuhan maupun hewan, 3) Sumber vitamin, 4) Sebagai zat yang dapat mempercepat dan menghambat pertumbuhan sehingga memiliki peranan penting dalam mengatur kehidupan fitoplankton di perairan.

Bahan–bahan organik yang perlu diperhatikan dalam perairan diantaranya adalah: Karbohidrat (CHO). Bahan-bahan organik yang mengandung karbon, hidrogen, dan oksigen misalnya glukosa, kanji dan selulosa. Senyawa nitrogen (CHONS). Bahan organik yang mengandung karbon, oksigen, nutrient, dan kadang-kadang sulfur misalnya, protein, asam amino dan urea. 3) Lemak (lipids atau fats) (CHO) .Yaitu bahan organik yang mengandung karbon, hidrogen dan sedikit oksigen. Lemak memiliki sifat kelarutan yang buruk dalam air, akan tetapi larut dalam pelarut organik.

10.1. Bahan Organik Terlarut Dalam Perairan

Bahan organik karbon berukuran 0,3 - 3 mgC/ l pada perairan ditemukan sebagai hasil peningkatan aktivitas fitoplankton dan polusi dari daratan. Metode penentuan karbon organik dengan cara menyaring sampel, dipindahkan ke sebuah ampul dan diacidified

sparging dengan uap udara bersih untuk memisahkan karbondioksida yang bergabung dengan keseimbangan asam karbonik. Sampel ini dihilangkan dengan Potasium Peroksidisulfat ($K_2S_2O_8$) lalu sampel ditutup. Selanjutnya dipanaskan dengan suhu $130^\circ C$ dalam sebuah autoclave selama 1 jam. Setelah dingin autoclave dibuka dan karbondioksida terbentuk oleh oksidasi dari bahan organik yang diubah dengan helium atau nitrogen, lalu diukur dengan alat ukur yang terbuat dari infra red absorption atau dengan absorption chromatography.

Sedangkan Penentuan bahan organik nitrogen terlarut dengan cara bahan organik nitrogen dioksidasi menjadi nitrit⁺ oleh penyinaran yang bersumber dari radiasi ultra violet. Nitrat selanjutnya direduksi ke nitrit menggunakan cadmium reduktor column sehingga total nitrat-nitrogen dapat ditentukan.

Bahan organik terlarut dalam air laut berasal dari empat sumber utama yaitu: 1) dari daratan yang masuk ke dalam perairan. Bahan organik terlarut yang berasal dari aliran air, bisa mencapai 20 mgC/l, terutama berasal dari pelepasan humic material dan hasil penguraian dari buah-buahan yang jatuh di tanah. 2) Penambahan bahan organik secara perantara alami dalam bentuk sewage (kotoran) dan buangan industri. Sebagian besar sudah siap dioksidasi dan segera membusuk karena bakteri dalam badan air. Namun dalam batasan badan air, kebutuhan oksigen secara biologi terpenuhi dikarenakan kondisi anoksik tersedia. 3) Penguraian organisme mati oleh bakteri. Ada dua mekanisme penguraian organisme mati yaitu secara autolisis dan bakterial. Di alam kedua mekanisme ini bekerja secara bersamaan. Tingkat penguraiannya tergantung pada kondisi kematian serta sampai tersedianya enzim dan bakteri yang diperlukan.

Dalam proses autolisis, reaksi penguraian terjadi karena adanya enzim di dalam sel dan hasilnya selanjutnya akan dilepaskan ke dalam badan perairan. Eksresi dari mikroorganisme seperti protozoa merupakan sumber yang penting dari bahan organik karbon. Proses pelepasan nitrogen dan fosfor dari organisme mati dalam perairan terjadi dengan cepat. Setengah dari nitrogen yang ada dalam zooplankton mati, diubah menjadi amonia dalam waktu 2 minggu dan fosfat dilepaskan dengan cepat. Skopintsev (1949) dalam Riley dan Chester (1971) menyatakan bahwa 70 % organik karbon tidak terlarut di dalam kultur alga mati akan dioksidasi menjadi karbondioksida (CO_2) dan setelah enam bulan ditemukan sekitar 5% yang diubah kedalam bahan organik terlarut. 4) Hasil metabolisme organisme alga terutama fitoplankton. Hasil fotosintesis alga akan melepaskan sejumlah bahan ke dalam badan perairan. Produksi ini penting sebagai sumber energi untuk organisme perairan lainnya dan juga berperan dalam kontrol ekologi 5) Eksresi zooplanton dan binatang laut lainnya.

Eksresi zooplankton dan binatang laut lainnya menjadi sumber penting bahan organik terlarut di perairan. Bahan-Bahan yang dikenal secara prinsip adalah Nitrogenous seperti urea, purines (allantoin dan asam uric), trimethyl amine oxide dan asam amin, trimethyl amine oxide dan asam amino (glycine, taurine dan alanine)

Bahan organik terlarut dari daratan diangkut ke perairan melalui angin dan sungai. Bahan organik terlarut yang berasal dari air sungai, bisa mencapai 20 mgC/l, terutama berasal dari pelepasan *humic material* dan hasil penguraian dari buah-buahan yang jatuh di tanah. Penambahan bahan organik secara perantara alami dalam bentuk *sewage* (kotoran) dan buangan industri. Sebagian besar sudah siap

dioksidasi dan segera membusuk karena bakteri dalam perairan. Namun dalam batasan badan air, kebutuhan oksigen secara biologi terpenuhi dikarenakan kondisi anoksik tersedia (Anonim, 2008).

Ada dua mekanisme penguraian organisme mati yaitu secara *autolisis* dan *bakterial*. Di alam kedua mekanisme ini bekerja secara bersamaan. Tingkat penguraiannya tergantung pada kondisi kematian serta sampai tersedianya enzim dan bakteri yang diperlukan. Dalam proses *autolisis*, reaksi penguraian terjadi karena adanya enzim di dalam sel dan hasilnya selanjutnya akan dilepaskan ke dalam badan perairan. Menurut Johanes (1968) dalam Riley dan Chester (1971), ekskresi dari mikroorganisme seperti protozoa merupakan sumber yang penting dari bahan organik karbon. Proses pelepasan nitrogen dan fosfor dari organisme mati dalam air laut terjadi dengan cepat.

Waksman, *et al* (1938) dalam Riley dan Chester (1971) telah menemukan bahwa setengah dari nitrogen yang ada dalam zooplankton mati, diubah menjadi amonia dalam waktu 2 minggu dan fosfat dilepaskan dengan cepat (Anonim, 2008). Skopintsev (1949) dalam Riley dan Chester (1971) menyatakan bahwa 70 % organik karbon tidak terlarut di dalam kultur alga mati akan dioksidasi menjadi karbondioksida (CO_2) dan setelah enam bulan ditemukan sekitar 5% yang diubah ke dalam bahan organik terlarut (Anonim, 2008).

Hasil fotosintesis alga akan melepaskan sejumlah bahan ke dalam badan perairan. Produksi ini penting sebagai sumber energi untuk organisme laut lainnya dan juga berperan dalam kontrol ekologi. Asam amino dan karbohidrat merupakan bahan yang dikeluarkan secara dominan oleh spesies khusus seperti *Olisthodiscus* sp..

10.2 Bahan Organik Tidak Terlarut

Sumber bahan organik tidak terlarut dalam perairan (Anonim, 2008): Di bawah air sungai ($4,2 - 109 \text{ gC/l}$) berukuran lebih kecil dari rata-rata produksi primer di laut ($4 - 1016 \text{ gC/l}$). Sebagian besar particulate organik matter dihasilkan oleh beberapa organisme penghasil utama seperti fitoplankton, makroalga dan bakteri kemoautotrofik. Produksi utama ini dihasilkan oleh fotoautotrofik nanoplankton (berdiameter $2,0 - 20 \mu\text{m}$). Sekitar 10 % dihasilkan dari tanaman dalam bentuk senyawa, berat molekulnya ringan seperti asam amino, asam trikarboksilik. Hasil ini dengan cepat dikonsumsi oleh bakteri. Hasil agregasi dan pengendapan dissolved organic matter. Pada subsurface dalam waktu tertentu butir-butir fecal zooplankton merupakan komponen yang terbesar dari bahan organik tak terlarut.

Sifat senyawa-senyawa organik pada umumnya tidak stabil dan mudah dioksidasi secara biologis atau kimia menjadi senyawa stabil, antara lain menjadi CO_2 dan H_2O . Proses inilah yang menyebabkan konsentrasi oksigen terlarut dalam perairan menurun dan hal yang menyebabkan permasalahan bagi kehidupan akuatik. Bahan organik bersifat isomerisme, beberapa jenis bahan organik memiliki rumus molekul yang sama. Apabila bereaksi dengan senyawa lain berlangsung lambat karena bukan terjadi dalam bentuk ion melainkan dalam bentuk molekul (Achmad, 2004).

Secara normal bahan organik tersusun oleh unsur-unsur C, H, O, dan dalam beberapa hal mengandung N, S, P dan Fe. Karbon, yang merupakan penyusun utama bahan organik, merupakan elemen/unsur yang melimpah pada semua makhluk hidup. Senyawa karbon adalah sumber energi bagi semua organisme. Keberadaan karbon anorganik

dalam bentuk CO_2 , HCO_3^- , dan CO_3^- mengatur aktivitas biologi perairan (Effendi, 2007).

Bahan-bahan organik yang ada di perairan antara lain dalam bentuk, Karbohidrat (CHO), bahan-bahan organik yang mengandung karbon, hidrogen dan oksigen misalnya glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) dan selulosa. Senyawa nitrogen (CHONS), bahan organik yang mengandung karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan kadang-kadang sedikit sulfur misalnya protein, asam amino, dan urea. Lemak (CHO), yakni bahan organik yang mengandung karbon, hydrogen, dan sedikit oksigen. Lemak memiliki sifat kelarutan yang buruk dalam air, akan tetapi larut dalam pelarut organik (Effendi, 2007).

Penelitian Triyatmo (2001) yang di Danau Sermo Jogyakarta memperoleh hasil bahwa sumber bahan organik di waduk Sermo berasal dari sisa-sisa organisme (hewan atau tanaman) yang sudah ada sebelum penggenangan atau berasal dari aliran sungai yang memasuki waduk. Bahan organik total meliputi bahan organik terlarut maupun tersuspensi. Selama aliran air atau penggenangan waduk, bahan organik akan mengalami perombakan oleh mikroorganisme perombak. Laju perombakan ini sangat dipengaruhi oleh jenis bahan organik, ketersediaan O_2 terlarut, derajat keasaman dan suhu air. Bahan organik yang sudah ada sebelum penggenangan biasanya masih 'mentah'. Bahan organik yang terangkut aliran air sungai biasanya sudah mengalami perombakan sepanjang aliran tersebut. Bahan organik ini umumnya mempunyai nisbah C/N tinggi sehingga perombakannya lebih lambat dibandingkan bahan organik setempat yang berasal dari organisme plankton yang mati (dengan nisbah C/N rendah). Perombakan bahan organik akan meningkat jika O_2 terlarut selalu tersedia dalam jumlah yang lebih dari cukup, pH meningkat

hingga 8,5 dan suhu meningkat hingga 35°C (Boyd, 1982). Bahan organik total perairan waduk Sermo berkisar antara 5,7-22,1 ppm (rata-rata 12,8 ppm).

Lebih lanjut dijelaskan bahwa secara vertikal kandungan bahan organik waduk Sermo tidak menunjukkan beda yang nyata. Kandungan bahan organik di permukaan perairan sedikit lebih besar daripada bagian tengah dan dasar, hal ini kemungkinan terutama karena bahan organik yang berasal dari organisme plankton permukaan. Suhu dan pH air waduk Sermo, seperti juga pada perairan waduk lainnya di daerah tropis umumnya sesuai untuk perombakan bahan organik. Perairan waduk Sermo juga mengandung O₂ terlarut yang akan memperlancar kegiatan perombakan bahan organik tersebut.

Indikasi keberadaan bahan organik dapat diukur dengan beberapa parameter, misalnya kandungan total bahan organik atau TOC (total organic carbon), kebutuhan oksigen biokimiawi atau BOD (biochemical Oxygen Demand), kebutuhan oksigen kimiawi atau COD (Chemical Oxygen Demand) dan kandungan bahan organik atau TOM (Total Organic Matter). Nilai COD biasanya lebih besar daripada nilai BOD, meskipun tidak selalu demikian.

1. Kandungan total bahan organik atau TOC (total organic carbon).

Pada penentuan TOC, bahan organik dioksidasi menjadi karbondioksida yang diukur dengan non-dispersive infrared analyzer. Pengukuran TOC juga dapat dilakukan dengan menggunakan flame ionization detector. Pada metode ini, karbon dioksida direduksi menjadi gas metana. Pengukuran TOC relative lebih cepat daripada pengukuran BOD dan COD.

Pada perairan alami, biasanya berkisar antara 1-30 mg/liter, sedangkan pada air tanah nilai TOC biasanya lebih kecil, yaitu kurang lebih 2 mg/liter. Nilai TOC perairan yang telah menerima limbah, baik domestic maupun industry atau perairan pada daerah berawa-rawa, dapat lebih dari 10-100 mg/liter.

2. Kandungan bahan organik atau TOM (Total Organic Matter)

Kalium permanganat telah lama dipakai sebagai oksidator pada penentuan konsumsi oksigen untuk mengoksidasi bahan organik, yang dikenal sebagai parameter nilai permanganate atau sering disebut sebagai kandungan bahan organik atau TOM. Penentuan nilai oksigen yang dikonsumsi dengan metode permanganate selalu memberikan hasil yang lebih kecil daripada nilai BOD. Kondisi ini menunjukkan bahwa permanganatan tidak cukup mampu mengoksidasi bahan organik secara sempurna.

3. Secara tidak langsung, BOD

BOD merupakan gambaran kadar bahan organik, yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba aerob untuk mengoksidasi bahan organik menjadi karbondioksida dan air. Dengan kata lain, BOD menunjukkan jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh proses respirasi mikroba aerob yang terdapat dalam botol BOD yang diinkubasi pada suhu sekitar 20 derajat Celcius selama lima hari, dalam keadaan tanpa cahaya. BOD hanya menggambarkan bahan organik yang dapat didekomposisi secara biologis (biodegradable). Bahan organik ini dapat berupa lemak, protein, kanji (starch), glukosa, aldehida, ester dan sebagainya. Dekomposisi selulosa secara biologis berlangsung relative lambat. Bahan organik merupakan

hasil pembusukan tumbuhan dan hewan yang telah mati atau hasil buangan dari limbah domestik dan industri.

Prinsip pengukuran BOD pada dasarnya cukup sederhana, yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal (DO_i) dari sampel segera setelah pengambilan contoh, kemudian mengukur kandungan oksigen terlarut pada sampel yang telah diinkubasi selama 5 hari pada kondisi gelap dan suhu tetap ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) yang sering disebut dengan DO_5 . Selisih DO_i dan DO_5 ($DO_i - DO_5$) merupakan nilai BOD yang dinyatakan dalam miligram oksigen per liter (mg/L).

Pengukuran oksigen dapat dilakukan secara analitik dengan cara titrasi (metode Winkler, iodometri) atau dengan menggunakan alat yang disebut DO meter yang dilengkapi dengan probe khusus. Jadi pada prinsipnya dalam kondisi gelap, agar tidak terjadi proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen, dan dalam suhu yang tetap selama lima hari, diharapkan hanya terjadi proses dekomposisi oleh mikroorganisme, sehingga yang terjadi hanyalah penggunaan oksigen, dan oksigen tersisa ditera sebagai DO_5 . Yang penting diperhatikan dalam hal ini adalah mengupayakan agar masih ada oksigen tersisa pada pengamatan hari kelima sehingga DO_5 tidak nol. Bila DO_5 nol maka nilai BOD tidak dapat ditentukan. Pada prakteknya, pengukuran BOD memerlukan kecermatan tertentu mengingat kondisi sampel atau perairan yang sangat bervariasi, sehingga kemungkinan diperlukan penetralan pH, pengenceran, aerasi, atau penambahan populasi bakteri. Pengenceran dan/atau aerasi diperlukan agar masih cukup tersisa oksigen pada hari kelima. Karena

melibatkan mikroorganisme (bakteri) sebagai pengurai bahan organik, maka analisis BOD memang cukup memerlukan waktu.

Oksidasi biokimia adalah proses yang lambat. Dalam waktu 20 hari, oksidasi bahan organik karbon mencapai 95 – 99 %, dan dalam waktu 5 hari sekitar 60 – 70 % bahan organik telah terdekomposisi. Lima hari inkubasi adalah kesepakatan umum dalam penentuan BOD. Bisa saja BOD ditentukan dengan menggunakan waktu inkubasi yang berbeda, asalkan dengan menyebutkan lama waktu tersebut dalam nilai yang dilaporkan (misal BOD₇, BOD₁₀) agar tidak salah dalam interpretasi atau memperbandingkan. Temperatur 20 derajat Celcius dalam inkubasi juga merupakan temperatur standard. Temperatur 20 derajat Celcius adalah nilai rata-rata temperatur sungai beraliran lambat di daerah beriklim sedang dimana teori BOD ini berasal. Untuk daerah tropic seperti Indonesia, bisa jadi temperatur inkubasi ini tidaklah tepat. Temperatur perairan tropik umumnya berkisar antara 25 – 30 derajat Celcius, dengan temperature inkubasi yang relatif lebih rendah bisa jadi aktivitas bakteri pengurai juga lebih rendah dan tidak optimal sebagaimana yang diharapkan. Ini adalah salah satu kelemahan lain BOD selain waktu penentuan yang lama tersebut.

Metode pengukuran COD sedikit lebih kompleks, karena menggunakan peralatan khusus reflux, penggunaan asam pekat, pemanasan, dan titrasi. Pada prinsipnya pengukuran COD adalah penambahan sejumlah tertentu kalium bikromat (K₂Cr₂O₇) sebagai oksidator pada sampel (dengan volume diketahui) yang telah ditambahkan asam pekat dan katalis

perak sulfat, kemudian dipanaskan selama beberapa waktu. Selanjutnya, kelebihan kalium bikromat ditera dengan cara titrasi. Dengan demikian kalium bikromat yang terpakai untuk oksidasi bahan organik dalam sampel dapat dihitung dan nilai COD dapat ditentukan.

Kelemahannya, senyawa kompleks anorganik yang ada di perairan yang dapat teroksidasi juga ikut dalam reaksi, sehingga dalam kasus-kasus tertentu nilai COD mungkin sedikit 'over estimate' untuk gambaran kandungan bahan organik. Bilamana nilai BOD baru dapat diketahui setelah waktu inkubasi lima hari, maka nilai COD dapat segera diketahui setelah satu atau dua jam. Walaupun jumlah total bahan organik dapat diketahui melalui COD dengan waktu penentuan yang lebih cepat, nilai BOD masih tetap diperlukan. Dengan mengetahui nilai BOD, akan diketahui proporsi jumlah bahan organik yang mudah urai (biodegradable), dan ini akan memberikan gambaran jumlah oksigen yang akan terpakai untuk dekomposisi di perairan dalam sepekan (lima hari) mendatang. Lalu dengan memperbandingkan nilai BOD terhadap COD juga akan diketahui seberapa besar jumlah bahan-bahan organik yang lebih persisten yang ada di perairan.

BAB XI**ASPEK BIOLOGI PERAIRAN DARAT****11.1. Komunitas Planktonis : Alga**

Plankton merupakan salah satu organisme di perairan yang memiliki ukuran sangat kecil dan bergerak sesuai dengan arah arus air. Plankton terbagi atas 2 jenis yaitu zooplankton (hewan) dan fitoplankton (tumbuhan). Di dalam perairan keberadaan plankton sangatlah penting. Artinya jika jumlah plankton di suatu perairan tinggi, maka keberlangsungan hidup seluruh organisme di dalam air tersebut akan terjaga. Fitoplakton dapat melakukan fotosintesis dan menghasilkan oksigen terlarut di dalam air. Di dalam rantai makanan, plankton dijadikan sebagai sumber makanan bagi ikan – ikan kecil yang hidup di perairan tersebut.

Plankton adalah makhluk hidup yang berukuran kecil (renik), tidak bergerak, atau melakukan pergerakan terbatas, dan tersuspensi di dalam air dan merupakan salah satu dari kekayaan alam yang ada di bumi, terutama di Indonesia. Plankton ini merupakan sasaran yang disebarkan oleh turbulensi serta pergerakan air lainnya. Baik plankton nabati (phytoplankton), maupun plankton hewani (zooplankton) biasanya memiliki berat jenis yang lebih besar daripada air dan tenggelam karena pengaruh gravitasi ke lapisan yang lebih dalam.

Faktor utama pertumbuhan dan perkembangan fitoplankton adalah ketersediaan zat hara dan sinar matahari. Sebagai produsen primer, fitoplankton membutuhkan zat hara dalam bentuk senyawa anorganik, seperti nitrogen dan fosfat. Dalam kondisi zat hara yang

berlimpah dan ditunjang oleh faktor lingkungan lain yang optimal, fitoplankton dapat tumbuh sangat melimpah. Sebagai contoh, proses pengkayaan zat hara yang berasal dari upwelling, sumber antropogenik dan masukan air sungai menyebabkan peningkatan pertumbuhan fitoplankton di lingkungan perairan, peningkatan kadar nitrat dapat mengakibatkan peningkatan kelimpahan total fitoplankton.

Harmful Algal Blooms (HABs) adalah suatu fenomena blooming fitoplankton toksik di suatu perairan yang dapat menyebabkan kematian biota lain. Peningkatan nutrien akan mempengaruhi tingkat kesuburan perairan dan dapat menyebabkan peningkatan kelimpahan plankton. Terjadinya blooming fitoplankton mikroskopis yang hidup di lingkungan perairan dapat menimbulkan dampak negatif. Blooming fitoplankton dapat menyebabkan kematian ikan akibat kekurangan oksigen dan pembusukan. Zat hara yang umum menjadi perhatian di lingkungan perairan adalah fosfor dan nitrogen. Kedua faktor ini memiliki peran penting bagi pertumbuhan fitoplankton atau alga yang biasa digunakan sebagai indikator kualitas air dan tingkat kesuburan suatu perairan (Risamasu, 2011). Konsentrasi nutrisi yang terkandung dalam air permukaan tropis yang menyebabkan pertumbuhan alga yang sangat pesat (algal bloom) adalah: 200 – 1000 $\mu\text{g L}^{-1}$ untuk fosfat dan 30 – 40 mg L^{-1} untuk nitrat (Zulfiyah, 2009).

Fitoplankton adalah tumbuhan mikroskopik (bersel tunggal, berbentuk filamen atau berbentuk rantai) yang menempati bagian atas perairan (zona fotik). Walaupun bentuk uniseluler/bersel tunggal meliputi hampir sebagian besar fitoplankton, beberapa alga hijau dan alga biru hijau ada yang berbentuk filament (Sunarto, 2008). Fitoplankton disebut juga plankton nabati, adalah tumbuhan yang hidupnya mengapung atau melayang. Ukurannya sangat kecil

sehingga tidak dapat dilihat oleh mata telanjang. Umumnya fitoplankton berukuran 2 – 200 μm (1 μm = 0,001mm). fitoplankton umumnya berupa individu bersel tunggal, tetapi juga ada yang berbentuk rantai.

Fitoplankton memiliki klorofil yang berperan dalam fotosintesis untuk menghasilkan bahan organik dan oksigen dalam air yang digunakan sebagai dasar mata rantai pada siklus makanan di laut. Namun fitoplankton tertentu mempunyai peran menurunkan kualitas perairan apabila jumlahnya berlebih (blooming). Tingginya populasi fitoplankton beracun di dalam suatu perairan dapat menyebabkan berbagai akibat negatif bagi ekosistem perairan, seperti berkurangnya oksigen di dalam air yang dapat menyebabkan kematian berbagai makhluk air lainnya. Adapula fitoplankton berbahaya. Berkembangnya jenis fitoplankton berbahaya lebih umum dikenal dengan istilah Harmful Algal Blooms (HABs).

Peningkatan populasi fitoplankton secara berlebihan dapat terjadi karena kondisi lingkungan yang mendukung. Ledakan populasi fitoplankton yang diikuti dengan keberadaan jenis fitoplankton beracun akan menyebabkan ledakan populasi alga berbahaya HABs.

Beberapa fitoplankton berbahaya diantaranya adalah dari golongan Dinoflagellata dan Diatomae yang jika mengalami ledakan populasi maka dapat menimbulkan fenomena yang disebut pasang merah (red tide). Dampak negatif yang ditimbulkan oleh adalah terjadinya kematian massal biota perairan, perubahan struktur komunitas ekosistem perairan, keracunan dan kematian pada manusia.

Faktor-faktor yang dapat memicu ledakan populasi fitoplankton berbahaya antara lain: adanya pengayaan unsur hara atau eutrofikasi,

adanya upwelling yang mengangkat massa air kaya unsur hara, dan adanya hujan lebat dan masuknya air ke perairan dalam jumlah yang besar.

Plankton merupakan organisme perairan baik sebagai produsen primer (fitoplankton) maupun sebagai produsen sekunder (zooplankton). Plankton berperan penting sebagai sumber makanan untuk kehidupan ikan pemakan plankton dan organisme sejenisnya. Kelimpahan plankton sangat berhubungan dengan tingkat produktivitas suatu perairan.

Plankton pada perairan mengalir umumnya kelimpahannya relatif kecil karena terbawa aliran air. Setelah penggenangan, plankton penghuni perairan waduk ditentukan oleh jenis plankton dari sungai yang masuk ke waduk tersebut.

Jumlah jenis, kerapatan dan indeks keanekaragaman plankton masing-masing stasiun (bulan September 1996 s/d Januari 1997) dapat dilihat dalam Tabel 2. Pada masing-masing stasiun jenis fitoplankton lebih banyak dijumpai daripada zooplankton. Jumlah fitoplankton berkisar dari sedikit hingga sedang. Jenis dan jumlah zooplankton sedikit. Selama penelitian, jenis fitoplankton yang sering teramati dalam jumlah yang cukup banyak adalah *Nitzschia* sp., *Nostoc* sp. dan *Peridinium*. Jenis fitoplankton yang sering dijumpai pada 3 bulan pertama (musim kemarau hingga awal musim hujan) adalah *Anabaena*, *Closteriopsis longissima* var *tropicana*, *Synechosystis aqualitis* dan *Chlorococcum humicola*. Jenis fitoplankton yang sering dijumpai pada 3 bulan terakhir (musim hujan) adalah *Leuvenia natans*, *Lyngbya birgei* dan *Schizomeris leiblinii*. Fitoplankton jenis *Arthrospira* sp. pernah melimpah pada bulan Oktober 1996, khususnya pada stasiun 1 dan 5.

Zooplankton di permukaan perairan waduk Sermo yang sering dijumpai mempunyai macam dan jumlah yang sedikit, yaitu meliputi *Brachionus* sp., *Cyclops* sp., *Frontoniella complanata*, *Loxodes magnus*, *Arcella* sp., *Diaptomus* sp., *Polyarthra* sp., *Sida crystallina*, *Moina* sp.

Jenis plankton yang dijumpai selama pengamatan berkisar antara 10-15 spesies (rata-rata 12 spesies). Kerapatan dan indeks keanekaragaman plankton pada perairan waduk Sermo selama pengamatan masing-masing berkisar antara 11.126-41.347 individu/l (rata-rata 24.644 individu/l) dan 0,659-1,003 (rata-rata 0,759). Pada masing-masing stasiun menunjukkan nilai rata-rata jumlah spesies, kerapatan dan indeks keanekaragaman plankton masing-masing berkisar antara 11-13 spesies, 21.120- 28.180 individu/l dan 0,710-1,804. Hasil pengamatan tersebut menyebutkan bahwa jumlah spesies, kerapatan dan indeks keanekaragaman antara masing-masing stasiun tidak menunjukkan perbedaan jauh.

Pada bulan Oktober 1996 (awal musim hujan), teramati jumlah spesies plankton paling banyak, yaitu mencapai 15. Kerapatan plankton rata-rata paling banyak pada bulan September 1996, kemudian relatif semakin menurun hingga bulan Januari 1997. Genangan air pada waktu bulan Oktober 1996 baru mencapai elevasi sekitar 107 - 108 m dpl (di atas permukaan laut). Volume ini masih sedikit dan kandungan serta masukan hara dari aliran air sungai kemungkinan meningkat. Genangan air waduk Sermo semakin lama semakin bertambah sehingga volume air dan luas genangan meningkat, maka terjadi pengenceran air dan kerapatan plankton menurun. Selama penelitian (September 1996 hingga Januari 1997)

pada masing-masing stasiun tidak dijumpai adanya tanaman air. Tanaman air yang berpotensi sebagai gulma air kemungkinan ada di sepanjang aliran sungai bagian hulu dan sekitarnya. Hal ini perlu untuk selalu dipantau dan diwaspadai.

Eutrofikasi adalah proses pengayaan nutrisi dan bahan organik dalam jasad air. Namun sebenarnya eutrofikasi merupakan proses alami, dimana perairan (danau, sungai, dan laut) menjadi sangat kaya akan nutrisi, terutama nitrogen dan fosfor eutrofikasi cenderung terjadi di perairan yang tergenang. Peningkatan unsur hara di perairan selain dapat menyebabkan ledakan fitoplankton, juga dapat memicu munculnya berbagai jenis fitoplankton yang beracun bagi organisme perairan.

Proses pertumbuhan dan produksi fitoplankton sangat bergantung pada ketersediaan bermacam-macam nutrisi. Nutrisi inorganik utama yang diperlukan untuk perkembangan fitoplankton adalah nitrogen (dalam bentuk nitrat) dan fosfor (dalam bentuk fosfat). Perairan yang merupakan tumpuan aktivitas masyarakat di sekitarnya mempunyai sebaran nutrisi yang berbeda dari pantai ke laut, baik secara vertikal maupun secara horizontal. Hal ini disebabkan oleh masukan-masukan nutrisi dari daratan yang diterima oleh masing-masing zona berbeda.

Organisme yang memiliki tenaga renang yang baik untuk pergerakannya disebut Nekton. Perifiton (periphyton) merupakan kumpulan bakteri dan alga yang tumbuh menempel pada substrat dan dinamakan secara terperinci berdasarkan tipe substrat yang ditempatinya (seperti sedimen, tumbuhan, hewan, dan pasir). Benthos dipilih sebagai hewan yang bukan planktonik yang berasosiasi dengan substrat pada lapisan permukaan air dengan sedimen. Pleuston merupakan

organisme yang beradaptasi secara khusus pada lapisan permukaan air-udara. Neuston adalah pleuston yang didominasi oleh kumpulan mikroflora.

Plankton dapat dikatakan sebagai salah satu sumber daya alam nabati maupun hewani. Pada dasarnya plankton adalah sisa-sisa jasad makhluk hidup. Plankton adalah salah satu jenis makhluk hidup yang terdiri dari tanaman dan hewan. Selain itu, plankton juga ada yang berjenis bakteri serta mikrobiologi. Plankton sendiri terbagi menjadi beberapa jenis. Jenis-jenis plankton antara lain: berdasarkan fungsinya, berdasarkan penyebarannya, berdasarkan daur hidup, dan berdasarkan ukuran tubuhnya.

Plankton air tawar terdiri dari beragam jenis alga. Sebagian besar alga fitoplankton tidak memiliki kemampuan bergerak atau pergerakannya sangat terbatas, akibatnya sebagian besar fitoplankton dihamburkan oleh adanya turbulensi pergerakan air. Karena kerapatan (density fitoplankton pada umumnya lebih besar dari air, sehingga cenderung tenggelam dari wilayah terang atau wilayah tropogenik. Penenggelaman memiliki keuntungan penghancuran gradient unsur hara di sekeliling sel. Kerugiannya pengendapan keluar ke wilayah fotik melebihi pada variasi tingkat transportasi oleh pergerakan ke atas dan turbulen air.

Dalam memperbaiki daya apung dan menurunkan laju penenggelaman dicapai dengan berbagai cara: penurunan laju penenggelaman diperkuat dengan peningkatan rasio permukaan terhadap volume. Penyimpangan pada morfologi sel dari bentuk bola dengan penonjolan dan proyeksi yang menurunkan laju penenggelaman dengan meningkatnya retensi gesekan dengan air. Polimoefis musiman (cyclo morfis) jarang terjadi pada fitoplankton,

tapi Nampak jelas diantara dinoflagellata *ceratium* merubah bentuknya sehingga mengurangi laju penenggelamannya sejalan dengan menurunnya kekentalan air selama misim yang lebih hangat.

Produksi lendir dapat mengurangi laju penenggelaman. Lapisan gelatin biasa didapatkan pada alga hijau biru dan alga hijau, diatom, dan pada jenis lain tertentu. Lapisan gelatin kurang padat dibanding sel, dan meningkatkan resistensi pergesekan.

Gelembung gas (*gas vacuoles*) pada umumnya didapatkan pada alga hijau-biru, yang dapat menurunkan kerapatan sel sampai dibawah kerapatan air. Berbagai alga hijau biru mengatur pengapungan dan posisinya di wilayah fotik untuk menyeimbangkan populasi terhadap gradient vertical fisik dan kimia yang layak untuk pertumbuhan. Beberapa jenis alga menurunkan kerapatannya dengan pengaturan kandungan ion selularnya.

Keberadaan secara bersamaan sejumlah spesies fitoplankton merupakan keadaan yang nyata di perairan tawar. Meskipun demikian beberapa species biasanya mendominasi dan beberapa alga yang lebih jarang berada bersama-sama diantara spesies dominan. Banyak ditemukan perbedaan karakteristik fisiologis diantara alga, kebutuhan dan toleransi sebagaimana variasi ruang dan musim di dalam parameter lingkungan, yang memungkinkan keseimbangan multispesifik untuk keberadaannya dalam priode yang pendek. Perbedaan di dalam efisiensi penggunaan sumberdaya mungkin demikian untuk kompetisi semata-mata yang terjadi sebelum perubahan kondisi lingkungan. Komensalisme parsial (sebagian) atau ketergantungan simbiotik seperti melalui produksi dan penggunaan unsur hara mikro organik atau keduanya dapat menurunkan kompetisi.

Herbivora selektif satu spesies yang lebih berhasil dapat menurunkan tingkat kompetensinya dengan spesies yang kurang berhasil. Alga tertentu atau plankton memasuki fase istirahat dengan periode yang berbeda, tidak melakukan dengan spesies plankton yang terus menerus sebagai plankton. Sebagian besar atau seluruh mekanisme keberadaan secara kebersamaan tersebut dapat berfungsi secara simultan. Berbagai faktor lingkungan berinteraksi mengendalikan pertumbuhan secara spasial (berdasarkan ruang) dan musiman serta subsesi populasi fito plankton.

Secara sinergis mempengaruhi fotosintesis. Meskipun laju fotosintesis dan pertumbuhan secara langsung berhubungan dengan intensitas matahari, namun responnya terutama dengan intensitas jenuh, suhu lebih berperan dan bervariasi diantara spesies-spesies alga. Suatu tingkat adaptasi yang cukup luas terhadap perubahan intensitas cahaya, didapatkan diantara berbagai jenis alga, sering dengan cara pengaturan konsentrasi pigmen persatuan biomassa.

Intensitas cahaya yang tinggi dapat menghambat fotosintesis banyak alga, di lain pihak pengaruhnya dapat sebaliknya jika periode pemaparan (eksposur) terhadap cahaya yang tidak begitu lama (beberapa jam), dan fito plankton berpindah ke wilayah dengan intensitas cahaya yang lebih rendah.

Distribusi vertikal fotosintesis berkaitan erat dengan ketersediaan cahaya. Suatu penurunan tingkat fotosintesis yang mendekati eksponensial dengan meningkatnya kedalaman terjadi di wilayah permukaan (photoinhibition) yang berlebih dan radiasi ultra violet umum terjadi, dengan menurunnya tingkat fotosintesis pada permukaan dan mencapai maksimum pada lapisan di bawahnya. Sejalan dengan meningkatnya laju fotosintesis persatuan volume air di

perairan yang mengalami pengkayaan unsur hara, kekeruhan biogenis sebagai akibat pada nya populasi alga kekebalan wilayah propogenis lebih ke arah permukaan

Alga memiliki suhu optimum dan kisaran toleransi tertentu, yang berinteraksi dengan parameter lainnya menimbulkan subsesi musiman. Sebagai contoh, banyak jenis diatom yang dapat berfotosintesis dengan baik pada suhu air yang lebih dingin, sedangkan berbagai alga hijau dan hijau biru memiliki suhu optimum yang lebih tinggi.

Perubahan pokok pada suksesi misiman fitoplankton di danau-danau wilayah pertengahan berkaitan dengan ketersediaan fosfor, nitrogen dan silika. Pertumbuhan suatu populasi dibawah kondisi cahaya dan suhu yang cukup sering dibatasi oleh suatu unsur hara tunggal, kendala tersebut dapat berubah dengan segera dari satu unsur hara ke unsur hara yang lain sejalan dengan perubahan ketersediaannya berdasar seharian (diurnal), harian dan musiman.

Banyak alga memerlukan unsur hara mikro organik seperti vitamin B12 tetapi tidak mampu untuk mensintesis nya. Substansi tersebut telah didapatkan di asimilasi secara aktif oleh fitoplankton, dan pada saat tertentu fotosintesis meningkat dengan pengkayaan organik mereka memungkinkan memainkan peranan yang cukup berarti didalam subsesi dan keberhasilan kompetisi populasi alga tertentu. Sebagian alga adalah foto autotroph obligatif, yang mereduksi karbon organik secara biokimia dengan energy cahaya. Pada alga tertentu terutama alga hijau-biru terjadi penggunaan substrat organik pada kondisi gelap (heterotrof) atau pada kondisi terang (fototrof) dengan dissimilasi aerobik. Pada beberapa alga terjadi perbanyakan heterotrophic, tapi didalam kondisi alam nya dengan konsentrasi

substrat yang rendah, bakteri merupakan kompetitor yang lebih baik dalam memanfaatkan dalam ketersediaan substrat.

Senyawa organik terlarut sebagian besar berasal dari tumbuhan daratan dan lahan basah (wetland), dan dapat mempengaruhi metabolisme fitoplankton berinteraksi dengan unsur hara makro dan mikro serta mempengaruhi ketersediaannya baik secara langsung (seperti kekompleksannya), atau secara tidak langsung (seperti merubah mekanisme pengaturan anorganik).

Pola dan subsesi musiman populasi dan biomassa alga yang berbeda dapat diamati pada komunitas fitoplankton. Di perairan tawar wilayah pertengahan, pertumbuhan sangat menurun selama musim dingin pada saat suhu dan intensitas cahaya rendah. Biomassa maksimum musim semi sering terlihat sejalan dengan membaiknya kondisi cahaya, dan sering didominasi diatom dan cryptophyce yang mampu beradaptasi terhadap kondisi cahaya yang rendah. Pada musim panas sering didapatkan biomassa yang lebih rendah. Di antara perairan yang lebih eutropik dengan muatan fosfor yang cukup tinggi konsentrasi silika dari wilayah propogenik biasanya menurun pada musim semi sampai tahap yang tidak mencukupi untuk menunjang populasi diatom. Populasi alga hijau yang tanpa silika menjadi melimpah, sampai tingkat menurunnya konsentrasi kombinasi nitrogen dibawah penggantian nya. Didalam kondisi tersebut alga hijau-biru yang menangkap atau memfiksasi (nitrogen) memiliki keuntungan kompetisi yang sering melimpah.

Populasi fitoplankton di danau-danau oligotrof wilayah pertengahan pada musim panas sering kali rendah. Maksimum kedua pada musim gugur, biasanya didominasi diatom, sering berkembang selama dan sesudah sirkulasi musim gugur. Pertumbuhan musiman

yang terbatas di wilayah altitude tinggi dan sub kutub, sering menghasilkan bio massa fitoplankton maksimum yang tunggal pada musim panas. Di danau-danau tropika biomassa total fitoplankton lebih spontan (maksimum sering terjadi pada musim dingin) dan lebih besar daripada danau-danau di wilayah pertengahan. Perubahan faktor-faktor abiotic sering terjadi di danau-danau tropika menyebabkan perubahan subsesi fitoplankton yang lebih bersifat episodic disbanding danau-danau pertengahan yang berstratifikasi. Meskipun demikian, subsesi alga dalam setiap episode hamper sama, baik di danau tropika maupun di danau pertengahan. Meskipun variabilitas nya cukup tinggi, pola umum subsesi musiman biomassa fitoplankton layak nya konstan dari tahun ketahun jika drainase cekungan tidak terganggu.

Perubahan musim jumlah dan biomassa fitoplankton biasanya sangat besar (mendekati ribuan kali) di perairan tawar pertengahan dan sub kutub. Di danau-danau tropika variasi musiman jauh lebih rendah (mendekati lima kali lipat) perubahan jumlah dan biomassa fitoplankton sering tidak sejalan dengan fase laju fotosintesis. Produktifitas fotosintesis di danau-danau dengan kesuburan rendah sampai sedang. Biasanya mengikuti secara lebih erat siklus tahunan radiasi matahari, hal ini terutama danau-danau di wilayah pertengahan dan wilayah sub kutub. Alga-alga yang lebih kecil dengan laju pembalikan yang lebih cepat sering mendominasi pada suhu yang lebih hangat.

Parasitisme fitoplankton chytrid, yang sering terjadi dan dapat meningkat seperti menua nya alga di perairan aerobik. Pengaruh parasitisme yang selektif terhadap subsesi spesies dan produktifitas alga tidak begitu jelas. Pemangsaan fitoplankton oleh rotifer dan krustase kecil dapat mempengaruhi populasi alga dan subsesi nya.

Berdasar waktu tahunan penghilangan fitoplankton akibat pemangsaan biasanya cukup kecil dibanding penghilangan karena sedimentasi/pengendapan keluar dari wilayah fotik. Menghilangnya fitoplankton karena pemangsaan dapat mencapai tingkat yang tinggi yang cukup berarti selama periode tertentu. Selama waktu populasi alga menurun dengan kuatnya sebagian besar makanan yang diserap (ingested) fitoplankton tidak diasimilasi, tapi dikeluarkan (egested) dan memasuki timbunan detritus sebagai bahan organik terlarut dan particular.

Selektifitas pemangsaan oleh krustase kecil, sebagian besar berdasarkan ukuran sel alga yang dapat merubah subsesi musiman fitoplankton. Regenerasi unsur hara, terutama fosfor, dapat dipercepat dengan terjadi nya pemangsaan zooplankton, peningkatan dalam regenerasi unsur hara dapat mempertinggi produktifitas alga. Sebagaimana unsur hara pembatas fitoplankton di perairan tidak subur bertambah dengan adanya masukan unsur hara, laju produksi alga meningkat.

Kepadatan komunitas fitoplankton menurun dengan cepat sebagaimana akibat berkurangnya ketersediaan cahaya dan ketebalan wilayah tropogenic. Suatu titik dicapai dengan terjadinya penaungan sendiri (shell shading) yang menghambat produktifitas lebih lanjut, meskipun dengan tersedianya unsur hara. Produktifitas persatuan luas permukaan dan dan system air tawar biasanya lebih rendah dalam kondisi hyper elotropic, disbanding pada kondisi kurang produktif dengan adanya wilayah tropogenic yang lebih tebal.

Efisiensi fotosintesis maksimum dalam penggunaan cahaya oleh plankton cukup rendah, biasanya kurang dari 1% radiasi yang

mencapai air. Efisiensi tersebut jauh lebih kecil daripada penggunaan oleh tumbuhan, daratan dan lahan basah.

Pada fitoplankton suatu hubungan terbalik yang umum terjadi diantara alga dengan produktifitas persatuan bio massa. Sering kali spesies seukuran kecil dengan peranan terhadap bio massa komunitas alga relative rendah, memiliki waktu regenerasi lebih pendek dan peranan nya terhadap produksi primer total lebih tinggi daripada spesies lain yang lebih besar ukurannya. Dalam jumlah yang cukup berarti karbon yang fiksasi oleh plankton melalui fotosintesis, dilepaskan sebagai senyawa organik terlarut secara ekstraseluler. Senyawa tertentu dengan berat molekul rendah dilepaskan dalam jumlah cukup besar melalui metabolisme dibawah kondisi tertekan (seperti oleh penghambatan cahaya dan rendah nya ketersediaan unsur hara). Presentase karbon organik ekstraseluler yang dilepaskan dari total karbon yang difiksasi secara fotosintesis cukup kecil (satu sampai lima persen) dalam kondisi sehat/layak fitoplankton tumbuh secara aktif. Presentase karbon organik yang dilepaskan meningkat pada kondisi ketersediaan cahaya sangat tinggi atau sangat rendah dan selama proses penuaan.

Produktifitas primer fitoplankton dapat bervariasi cukup besar secara horizontal. Variasi ruangan cukup berarti di danau-danau yang sangat kecil, danau-danau sangat besar (seperti danau laurensia besar), sekitar wilayah dittorral dan wilayah imlet danau, serta sejalan dengan meningkatnya kemajemukan (kompleksitas) morfometrik cekungan danau.

11.2. Komunitas Planktonis : Zooplankton dan Interaksinya dengan Ikan

Zooplankton perairan tawar didominasi oleh empat kelompok utama dari hewan-hewan : protozoa, rotifera, dan dua subclass krustase, cladocera dan copepoda. Sedikit sekali diketahui tentang dinamika populasi dan produktifitas protozoa planktonic. Pada kondisi tertentu, flagellate, rhizopoda dan ciliata membentuk suatu komponen kompleks/kokoh komunitas zooplankton pelagis. Banyak protozoa pelagis yang meroplanktonik, yaitu hanya sebagian dari siklus hidupnya sebagai plankton, biasanya dimusim panas. Bentuk-bentuk tersebut berada dalam masa istirahat dari siklus kehidupannya didalam sedimen. Sering kali sessil selama periode musim dingin. Banyak protozoa yang memakan partikel-partikel kecil yang berukuran bakteri, dan karena itu menggunakan suatu class ukuran bakteri dan detritus yang pada umumnya tidak digunakan pada zooplankton yang lebih besar.

11.3. Komunitas littoral : Tumbuhan tingkat tinggi

Luas wilayah littoral danau dan sungai sangat bervariasi bila dikaitkan dengan luas wilayah pelagis air terbuka. Karena sebagian besar danau di dunia cukup kecil dan dangkal, tumbuhan littoral dan lahan basah (wetland) serta epifitnya pada umumnya merupakan suatu sumber dominan dari sintesis bahan organik pada perairan.

Berdasarkan analisa Bappedal Wajo (1999). terdapat 21 jenis tumbuhan air (diluar fitoplankton) di perairan danau. Dari sekian banyak jenis tumbuhan air yang ada di perairan danau, beberapa diantaranya sengaja dipelihara oleh para nelayan sebagai “bunka todo”, yaitu tumbuhan air sebagai perlindungan/penjebakan ikan.

Jenis dominan yaitu eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), kiambang (*Pistisia stratiotes*) dan Kangkung air (*Ipomoea aquatica*) (Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Wajo. 2005; Anonymous 2016).

Empat kelompok tumbuhan perairan dapat dibedakan berdasarkan morfologi dan fisiologi, masing-masing kelompok mendominasi suatu wilayah tertentu dari wilayah littoral. Tipe mencuat (emergen) tumbuh pada tanah jenuh air atau tanah tergenang air, dari kedalaman air 0,5 meter dibawah permukaan tanah (supralittoral) sampai sedimen yang terendam air dengan kedalaman 1,5 meter (upperlittoral).

Tipe daun terapung (floating leaf) berakar disedimen yang terendam air di wilayah littoral pertengahan (kedalaman sekitar 0,5-3,0 meter) dan memiliki daun-daun terapung dan agak berudara. Tipe tenggelam (Submerged) terdapat pada semua kedalaman di wilayah fotik (yang masih tembus cahaya matahari). Angiosperma vaskuler terdapat hanya sampai kedalaman 10 meter tekanan hidrostatik (1atm) di dalam littoral bagian yang lebih bawah (infralittoral) dan tumbuhan yang nonvaskuler (seperti makroalga) terdapat sampai batas yang lebih bawah dari wilayah fotik (littoprofundal)

Tipe terapung bebas (freely floating) tidak memiliki akar ke substrak, dan terapung secara bebas pada atau di dalam air, biasanya terbatas pada wilayah terlindung atau tidak ada turbulensi. Tumbuhan yang mencuat menghasilkan daun-daun yang tegak, sejajar dari rhizome/dasar akar, secara fisiologi mirip tumbuhan daratan.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa Perairan danau Tempe termasuk perairan mesoeutrofik yaitu perairan yang mempunyai tingkat kesuburan sedang sampai tinggi. Nilai konsentrasi khlorofil-a dengan nilai rata-rata antara 14,24-16,66 ug. Kesuburan dari Danau Tempe terlihat dari Jenis tanaman air yang mendominasi

yaitu enceng gondok (*Eichhornia crassipes*), Pistisia stratiotes L, *Persicaria barbata* (L.) dan Kangkung air (*Ipomoea aquatica*), yang menutup hampir 40% wilayah danau Tempe (Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Wajo. 2005).

Jaringan akar tumbuh pada substrat anaerob dan harus mendapatkan dari organ yang terbuka ke udara untuk respirasinya. Tumbuhan mengembangkan gelembung-gelembung gas diantara sel-sel secara ekstensif yang memungkinkan pergerakan dan pertukaran gas internal.

Laju transpirasi tumbuhan mencuat dan terapung seringkali sangat tinggi, mengakibatkan kehilangan air ke atmosfer melebihi evaporasi pada luasan air yang sama. Evapotranspirasi vegetative dapat menghilangkan air cukup besar sampai dapat dirasakan terjadinya penurunan level air pada perairan tawar dan wilayah daratan sekitarnya.

Angiosperma tenggelam memiliki sejumlah adaptasi morfologi dan fisiologi terhadap lingkungan airnya. Ketebalan daun hanya beberapa sel, figmen fotosintetis terkonsentrasi pada jaringan epiderma. Daun-daun cenderung lebih terpecah-pecah dengan rasio luas permukaan terhadap volume lebih besar, dibandingkan dengan tumbuhan air lainnya atau tumbuhan daratan. Morfologi daun dengan bukaan permukaan seluler maksimum terhadap penurunan cahaya, gas, dan persediaan unsur hara di dalam air.

Banyak angiospermae tenggelam yang menunjukkan polimorfis vegetative (heterotrofily) pada struktur daunnya, sering pada cabang yang sama atau tangkai daun. Perubahan morfologis dari daun-daun tenggelam yang terpecah secara halus adalah untuk lebih mengumpulkan, seluruh bentuk daun terapung di permukaan, atau daun-daun yang

terbuka ke udara. Pertumbuhan heteropyllous dikendalikan oleh interaksi suhu, CO_2 dan melalui kegiatan hormone dengan konsentrasi ethylene dan cahaya.

Assimilasi karbon lebih sulit pada tumbuhan tenggelam disbanding tumbuhan daun-daun terapung dan mencuat yang memiliki jalur ke CO_2 atmosfer. Hal ini terutama karena laju difusi gas di air beberapa tingkat lebih lambat dibandingkan di udara.

Kutikula angiospermae tenggelam berkurang atau menghilang, jaringan fotosintesis cukup tipis (ketebalan 1-3 sel), dan chloroplast menyebar secara padat pada sel-sel epidermal yang lebih luar, seluruhnya meningkatkan pertukaran gas dan unsur hara yang terlarut di dalam air.

Gelembung-gelembung gas antar sel yang meluas (seringkali lebih dari 70% dari volume tumbuhan) pada daun, batang, tangkai dan akar berperan dalam mempercepat difusi internal gas. Mikrozon-mikrozon pada permukaan seluler daun dengan cepat berkembang di wilayah littoral perairan yang tenang; mikrozon tersebut menimbulkan gradient penurunan ketersediaan gas.

Species tertentu dari makrofita tenggelam mengassimilasi dan kemudian mengurangi ion-ion bikarbonat karboksilase (decarboxilate bicarbonate ions). Assimilasi ini menunjukkan suatu adaptasi fisiologis terhadap terbatasnya ketersediaan CO_2 bebas.

Angiospermae tenggelam memiliki metabolisme fotosintetik tipe C_3 -calvin dengan laju fotorespirasi yang tinggi. CO_2 dari respirasi mitokondria jaringan daun dan akar, fotorespirasi dan pada beberapa tumbuhan air lunak CO_2 bersumber dari sedimen, serta memperbesar asimilasi CO_2 dan HCO_3^- dari air. Banyak CO_2 dan respirasi bersiklus kembali secara efisien di dalam gelembung gas internal daun-daun.

Banyak oksigen yang dihasilkan dari fotosintesis, atau memasukitumbuhan mencuat dan terapung dari atmosfer, bergerak ke arah dalam gelembung gas internal menuju jaringan akar. Banyak pula oksigen yang terdifusi ke rhizosphere (ruangan dalam rhizome) sekelilingnya dan memberikan perlindungan terhadap hasil metabolisme yang beracun (H_2S , asam lemak yang mudah menguap) yang dihasilkan dari fermentasi dalam sedimen yang anaerob.

Nutrien diassimilasi tumbuhan mencuat dan tumbuhan berdaun terapung, berakar dari sedimen, sedangkan tumbuhan yang terapung bebas diassimilasi dari air. Sebagian besar tumbuhan tenggelam berakar mendapatkan unsur haranya terutama dari sela air dan sedimen, yang terkonsentrasi lebih besar dari pada di dalam air. Ketika konsentrasi di dalam air tinggi, proporsi yang diassimilasi dari air lebih besar. Banyak unsur hara yang dilepaskan ke dalam air oleh tumbuhan tenggelam selama pertumbuhan aktifnya; jumlah yang cukup besar dilepaskan selama proses menua dan mati.

Ketersediaan cahaya merupakan factor yang paling mengatur pertumbuhan dan interaksi kompetitif tumbuhan air. Di antara tumbuhan yang tenggelam pemudaran cahaya yang cepat membatasi penyebaran vertical pertumbuhan makrofita. Titik kompensasi fotosintesis pada umumnya pada 1-3% dari cahaya penuh. Adapun fotosintesis dan respirasi yang luas terhadap cahaya rendah dan suhu yang berbedadidapatkan di antara spesies tumbuhan tenggelam. Ketersediaan cahaya dan penaungan antar spesies dapat menjadi factor utama yang mempengaruhi keberhasilan kompetisi suatu spesies terhadap spesies lainnya.

Tekanan hidrostatik kemungkinan berinteraksi dengan intensitas cahaya yang rendah, membatasi penyebaran angiosperma air tawar

pada kedalaman kurang dari 10 meter. Produktivitas tumbuhan air telah dievaluasi dari perubahan biomassa berdasarkan waktu, di dalam beberapa hal dengan penentuan laju fotosintesis *in situ*. Banyak tumbuhan perennial (tumbuhan tahunan) dengan tingkat perputaran biomassa yang bervariasi dari tahun ke tahun.

Akar dan rizoma tumbuhan air tenggelam membentuk bagian yang lebih kecil (1-40%) dari biomassa total tumbuhan, dibanding pada tumbuhan tipe daun terapung (30-70%), atau tumbuhan mencuat (30-95%). Di dalam segala keadaan, kehilangan biomassa tumbuhan air oleh patogen dan dimakan biasanya cukup kecil (0,5-8%). Proses menua dan matinya tumbuhan selama pertumbuhan aktif telah dievaluasi pada beberapa kasus secara akurat. Kehilangan melalui proses penuaan tergantung pada spesies tumbuhan dan kondisi lingkungan, di antara spesies perennial, perputaran biomasanya berkisar antara 1,5-3 kali pertahun atau lebih, dengan melalui sejumlah kelompok populasi yang berbeda.

Tumbuhan yang mencuat mengandung jaringan struktural yang jauh lebih tinggi dibanding tumbuhan tenggelam atau tumbuhan daun terapung. Jaringan struktural ini merupakan suatu komposisi kimia yang relatif kokoh terhadap penguraian mikroba yang cepat. Pertumbuhan mikrofit air pada umumnya lebih tinggi di sedimen yang kaya bahan organik daripada sedimen pasir.

Berdasarkan satuan wilayah, produktivitas bersih tertinggi adalah tumbuhan air diantara komunitas biosfir. Produktivitas tumbuhan mencuat yang paling tinggi (1500-4500 g C m⁻² per tahun); produktivitas tumbuhan tenggelam jauh lebih rendah (50-1000 g C m⁻² per tahun) tapi sering sama atau melebihi produktivitas fitoplankton (50-450 g C m⁻² per tahun).

Variasi musiman produktivitas tumbuhan air cukup besar. Di wilayah pertengahan, produktivitas tumbuhan air biasanya mengikuti suhu dan tingkat penyinaran oleh sinar matahari. Beberapa tumbuhan tenggelam tumbuh di bawah penutupan es, meskipun produktivitas bersihnya cukup rendah atau nol. Di wilayah tropika, pertumbuhan hampir dapat berlangsung terus menerus.

Produktivitas fitoplankton biasanya lebih rendah di wilayah littoral yang tertutup tumbuhan air. Dari percobaan di atas dengan jelas menunjukkan bahwa fenomena ini merupakan akibat yang luas dari kompetisi terhadap unsur hara (meliputi karbon) oleh tumbuhan tenggelam, dan menurunnya cahaya karena naungan daun-daun tumbuhan air.

Wilayah littoral dan wilayah lahan basah dari ekosistem air tawar biasanya memiliki aktivitas metabolisme yang intensif karena keberadaan tumbuhan air. Tumbuhan sering merupakan sumber-sumber bahan organik ke perairan tawar. Sintesis bahan organik oleh tumbuhan tenggelam dan penguraian di dalam dan pada sedimen wilayah lahan basah, mengakibatkan tingginya muatan bahan organik terlarut dan unsur hara organik pada danau-danau yang menerimanya. Waktu pemuatan sangat dipengaruhi oleh fase pertumbuhan makrofit wilayah lahan basah, proses penuaan, dan proses penguraian. Sebagaimana air yang memuat unsur hara dan senyawa organik melintasi danau, muatan kimia dimodifikasi secara kuat oleh aktivitas metabolik tumbuhan littoral tenggelam dan mikrofit epifit. Kompleks makrofit littoral epifit dapat berfungsi sebagai suatu jaringan metabolik yang selektif.

11.4. Komunitas Litoral: Alga dan Zooplankton

Makrofita tenggelam serta bagian bagian terendam dari makrofita terapung dan mencuat, memberikan areal permukaan yang luas dapat dikolonisasi oleh microflora sessile (menetap). Berbagai microhabitat yang luar bias ditemukan di daerah littoral, diantara substrat pasir, batuan, sedimen organic, dan makrofita. Interaksi yang rumit terjadidiantara microflora penempel dan substratnya. Hubungan tersebut sedikit sekali diketahui. Meskipun demikian hal ini jelas bahwa keeratan microflora penempel atau yang hidup menempel secara terikat dengan substrat hidup atau mati dapat memperbesar kemampuan dari unsur hara tertentu yang dibutuhkan dan memberikan keuntungan metabolis, hal ini tidak semampu microflora lainnya yang hidup pada medium air terbuka yang lebih encer. Populasi sessil cenderung lebih stabil daripada plankton kerabatnya.

Alga penempel dari komunitas littoral sering membentuk biomassa alga dominan di sungai-sungai dan danau-danau dangkal. Lebih dari 90 % dari seluruh species alga kemungkinan tumbuh menempel pada habitat-habitat tenggelam. Diatom mendominasi pada semua substrat diantara ekosistem perairan produktivitas menengah. Alag hijau biru sessil dan flagellate meningkat pelimpahannya pada danau-danau dengan bahan organic yang semakin kaya.

Alga yang hidup pada sedimen lepas merupakan subjek gangguan dan pengalihan oleh gerakan air, sedang kelompok fauna sering menunjukkan kemampuannya untuk bermigrasi secara vertical dalam responnya terhadap perubahan cahaya. Migrasi vertical ini ditentukan oleh ritme harian di dalam cell division dan kemampuan fotosintetik

Di wilayah pertengahan, biomassa musiman komunitas alga penempel umumnya mengikuti perubahan musiman cahaya yang

masuk kedalam air dan suhu. Diatom epipelik (penempel pada permukaan sedimen) sering menunjukkan populasi maksimum pada musim semi dan musim gugur. Dinamika populasi musiman alga yang epifit (menempel pada permukaan tumbuhan) lebih bervariasi dan berubah sejalan dengan ketersediaan areal permukaan untuk kolonisasi dari makrofita sebagai pendukung yang berubah secara musiman.

Di wilayah littoral, fotosintesis alga penempel sangat dipengaruhi lamanya cahaya yang tersedia, meskipun mekanisme mengkonversasinya menyesuaikan yang dimilikinya memungkinkan menghasilkan pertumbuhan aktif pada level radiasi yang rendah. Biomassa alga yang epipelik biasanya meningkat sejalan dengan meningkatnya kandungan unsur hara pada sedimen. Alga epipelik dapat menggunakan senyawaan nitrogen dalam jumlah yang cukup berarti pada antar muka air-sedimen, serta merubah fluktuasi unsur hara dari sedimen ke air di atasnya di dalam wilayah littoral.

Jika perbandingan pertumbuhan diantara populasi alga dikaitkan dengan perbedaan substrat adalah mungkin, akan menunjukkan bahwa fotosintesis biasanya lebih tinggi pada alga yang menempel pada butiran pasir daripada yang berasosiasi dengan sedimen organik. Alga epifit pada makrofita sering lebih produktif dibanding pada sedimen. Fakta-fakta yang tersedia yang cukup rendah menunjukkan bahwa suatu hubungan metabolik yang berdinamika tinggi.

Produktivitas alga littoral tidak jauh lebih tinggi daripada fitoplankton dan laju perputarannya cenderung sedikit lebih lambat. Ketersediaan permukaan yang luas untuk kolonisasi, meskipun khususnya pada makrofita tenggelam, dapat menghasilkan kontribusi

yang sangat tinggi dari alga penempel littoral terhadap produktivitas primer total dari banyak ekosistem air tawar. Heterogenitas ruang dalam kaitannya dengan laju produksi alga penempel biasanya sangat besar, karena variabilitas yang cukup luas di dalam habitat littoral perairan tawar.

Laju produksi komunitas alga penempel biasanya mengikuti tingkat pencahayaan sinar matahari dan kurva suhu tahunan, dengan maksimum yang terjadi pada pertengahan musim panas. Sebagian besar danau-danau di dunia cukup dangkal dan memiliki wilayah littoral lebih luas. Produktivitas alga littoral dan makrofita cenderung meningkat dalam kaitannya dengan fitoplankton sejalan dengan semakin suburnya danau. Pada kondisi eutrofik pertumbuhan fitoplankton dan alga epifit yang luar biasa dapat menurunkan cahaya yang cukup untuk penurunan makrofita tenggelam dan alga penempel, sebagai akibatnya secara keseluruhan terjadi penurunan produktivitas total dari suatu danau.

Banyak protozoa, rotifer, dan zooplankton mikrocrustace dari wilayah littoral hidup menetap pada sedimen atau makrofita, dan tidak merupakan plankton yang sebenarnya(hanya sementara sebagai plankton). Zooplankton yang berasosiasi dengan tumbuhan biasanya menetap pada tipe makrofita yang spesifik. Kepadatan populasi hewan-hewan pemangsa microflora epifit dan detritus, berkorelasi positif dengan kepadatan alga epifit.

Banyak sejarah kehidupan, reproduksi, dan ciri-ciri populasi zooplankton penghuni littoral mirip dengan kerabatnya yang menghuni wilayah pelagis. Jumlah populasi mikrocrustace littoral umumnya umumnya meningkat selama musim semi dan musim gugur, dan menurun selama musim panas. Populasi minimum pada

pertengahan musim panas sering akibat dari pemangsaan yang intensif oleh larva insekta dan ikan-ikan kecil.

REFERENSI

- Al Quran dan Terjemahannya. Departemen Agama Republik Indonesia
- APHA, 1985. Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. American Public Health Assosiation Washington. 16Th Edition.
- Anderson, GC. 1958. Some technological features of the Meromictic Saline Shallow Lake. *Limnologi dan Oseanografi* . **3** (3): 259–270.
- Atmojo, T. Yuni. Bachtiar, T. Radjasa, O.K. Sabdono, A. 2003. Kandungan Koprostanol dan Bakteri Coliform pada Lingkungan Perairan Sungai, Muara dan Pantai di Banjir Kanal Timur, Semarang pada Monsun Timur. *Jurnal Ilmu Kelautan*, Vol 9, No. I, pp : 54-60 Bappedal kabupaten Wajo.
1999. Penataan Aktivitas Masyarakat Dalam Rangka Pengendalian Kerusakan Dan Pemulihan Lingkungan Perairan Danau Tempe, Sulawesi Selatan. Draf. Laporan Akhir Bappedal Regional III. Kabupaten Wajo.
- Bappedal kabupaten Wajo, 2006. Danau Tempe Wajo, Penghasil Ikan Air Tawar Terbesar di Dunia.
<http://bappeda.wajokab.org/index.php/profil/98-program-prioritas/sosial>. Akses Maret 2018.
- Barus, T.A. 2002. *Pengantar Limnologi*. USU-Press. Medan
- Boyd, C.E. 1968. Fresh Water Plant: Potential Sources of Protein. Auburn University Agriculture Experiment Station Alabama, USA
- Boyd, C.E, 1979. Water Quality in Water Fish Ponds. Carffmaster Inc. Opelica. Alabama.
- Chapra, S. C., 1997. Surface Water Quality Modelling, McGraw-Hill, Singapore
- Cole, G., A., 1988. Texbook of Limnology.Third edition. Waveland Press, Inc. Illiois, USA
- Clarkson, B. and M. Peters. 2010. Wetland types. In. B. Clarkson and M. Peters (Eds). *Wetland Restoration : A Handbook For*

- NzFreshwater System. Manaaki Whenua Press, New Zealand. pp. 26–37.
- Dyah Agustiningih, S. B. Sasongko, dan Sudarno, 2016. Analisis Kualitas Air Dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Blukar Kabupaten Kendal. Makalah. Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro.
- Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Wajo. 2005. Laporan tahunan Kelautan dan Perikanan Kabupaten Wajo. Kabupaten Wajo.
- Deevey, E.S. 1951. Life in The Depth of Pond. Science Publishing, London
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan. Penerbit Kanisius. Yogyakarta
- Effendi, H., 2007, *Telaah Kualitas Air*, Kanisius, Yogyakarta.
- Gadis Sri Haryani .Kondisi Danau Di Indonesia Dan Strategi Pengelolaannya Pusat Penelitian Limnologi-LIPI Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan MLI I, Cibinong 3 Desember 2013
- Gibson, John AE. 1999. Meromictic lake and stratified ocean basins in Vestfold Hills, East Antarctica Antarctica Sciences. 11.2 (1999): 175-192.
- Giesen, 1991. Indonesian Major Freshwater Lakes: A Review of Current Knowledge, Development Processes and Threats, Conservation and Management of Tropical Inland Water Problems, Hongkong.
- Goldman, C. R. and A. J. Horne. 1983. Limnology. McGraw-Hill Book Company. United State of America. America
- Hakala, A. 2004. Meromixis as part of lake evolution-revised observations and classifications of true meromictic lakes in Finland Boreal Environment Research. 9 : 37–53. ISSN 1239-6095.
- Haryani G.S. and P.E. Hehanussa, 1997, Preliminary Ecotone Studies of Two Tectonic Lakes in Sulawesi island, Its Relevance to Lake Management Planning. Proceedings of Workshop on

Ecological Approach for Lake and Reservoir Management in Indonesia, UNESCO-IHP-LIPI-PU, Bali, Indonesia. Limnologi-LIPI. Bogor. Hal: xiii-xxvi.

Haryani Gadis Sri & P.E. Hehanussa, 1999. Pendekatan Ekohidrologi, Paradigma Baru Implementasi Penataan Ruang Untuk Pengelolaan Danau dan Waduk. Prosiding Semiloka nasional Pengelolaan dan Pemanfaatan Danau dan Waduk. PPLH-LP, IPB. Hal: IX-1-IX-7.

Haryani, Gadis Sri dan P.E. Hehanussa, 2002. Masalah, Tantangan, dan Kendala Pengelolaan Danau di Indonesia. dalam Peluang dan Tantangan Pengelolaan Sumberdaya Air di Indonesia. Sutopo P.N., Seno Adi, Bambang Setiadi (editor). P3-TPSLK BPPT & HSF, Jakarta. 183-211.

Hermawan FK, Krisbandono A, Hakim M A, Suriadi A, Mahida M, Hartati DM. 2015. Policy Brief: Pemetaan Sosial Ekonomi Dan Lingkungan: Mendukung Pengembangan Kawasan Dan Konservasi Ekosistem Danau Tempe Sulawesi Selatan. Jakarta Selatan: Pusat Litbang Kebijakan dan Penerapan Teknologi Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Hutchinson, G. Evelyn (1937). Contributions to technology in arid regions". Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences **33** : 47–132.

Hutchinson, E. 1957. A treatise in Limnology Geography, Physics and Chemistry Vol 1 John Wiley and Sons, New York

Jorgensen, S.E., 1980 Lake Management, Water Development, Supply and Management, Developments in Hydrology. Vol 14 Pergamon Press. Oxford.

Julzarika A dan Dewi E K. 2017. Laporan litbang identifikasi sumber daya perairan darat (15 danau prioritas). Pusfatja LAPAN, Jakarta.

Krismono, DWH. Tjahjo, A. Hardjamulia, S. Nuroniah dan C. Umar, 1987. Penelitian Limnologi Biologi Waduk Saguling Pada Tahap PostInundasi. Bull. Penel. Perik. Darat 6 (3) : 1-31.

- Kartamihardja, E.S., AS. Nastiti, Krismono, K. Purnomo, dan A. Hardjamulia, 1987. Penelitian Limno Biologis Waduk Saguling Pada Tahap Pra-Inundasi. Bull. Penel. Perik. Darat 6 (3) : 32-62.
- Kordi dan Tancung, A, B., .2007. Pengelolaan Kualitas Air dalam Budidaya Perairan. Rineka Cipta. Jakarta
- Kuenzler, E.J. 1961. Phosphorous Budget of a Mussel Population. Limnology- Oceanografy.
- Laapo, A., Fahrudin, A., Bengen, D. G., & Damar, A. (2009). Pengaruh aktivitas wisata bahari terhadap kualitas perairan laut di kawasan wisata gugus Pulau Togean. Ilmu Kelautan, 215-221.
- Lewis, William M., Jr. (1983). Revised lake classification based on mixing Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.40 (10): 1779–1787. doi : 10.1139 / f83-207
- Lesmana.D.S. 2001. Kualitas air untuk ikan hias air tawar. Penerbit Swadaya: Jakarta.
- Lukman, 1999. Limnologi. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Limnologi 63 hal (Terjemahan dari Limnology by Wetsel, R.G., 1983. Secon Edition. Saunders Collage Publ Philladepphia)
- Maca, T.T and Worthington, E.B. 1990. Life in Lake and Rivers.Bloombury Books. London
- Media F. I. N., A. Julzarika, A. Radjamuddin, Reflinur, R. Yunita, W. Enggarini, dan H. Novita. 2019. Studi Tanaman Air dan Ekologi-Fisika Danau Tempe, Sulawesi Selatan. Jurnal Torani Volume 2 (2) June 2019: 105-115
- Noorsyamsi, H. dan M. Hidayat. 1976. The tidal swamp rice culture in South Kalimantan. Contr. Centr. Res. Ins. Agric. Bogor. 10; 1–18.
- Odum, H. T. 1957. Primary Production Measurement in Eleven Florida Spring Marine Turtle Gross Community Limnology – Oceanografy
- Odum.E.P. 1993. *Dasar-dasar ekologi*. Edisi ketiga. Gadjah Mada University Press.

- Parkin, TB & Brock, TD (September 1981). *The Role of Phototrophic Bacteria in the Meromictic Lake Sulfur Cycle*. Limnologi dan Oseanografi . 26 (5): 880–890.
- Pipin Kusumawati, A. A. Rif'an, dan E. Sugiarto, 2019. Potensi Selokan Mataram: ulasan keadaan fisik dan kualitas airnya. Jurnal Pendidikan Geografi: Kajian, Teori, dan Praktik dalam Bidang Pendidikan dan Ilmu Geografi Tahun 24, (2):108-118
- PU [Kementeraian Pekerjaan Umum]. 2013. Buku Informasi Statistik Pekerjaan Umum 2013. Pusat Pengolahan Data, Kementerian Pekerjaan Umum
- Ponnamperuma, F.N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy*. 24; 29–96.
- Ruttner, F. 1963. *Fundamentals of Limnology*. University of Toronto Press. Toronto.
- Sanderson, B .; Perry, K. & Pedersen, T.,1986. Vertical Diffusion in Lake Powell Meromictic, British Columbia. *Journal of Geophysical Research* 91 (C-6): 7647-7655.
- Subarijanti, H.U. 1990. Diktat Kuliah Limnology. NUFFIC/ UNIBRAW/ LUW/ FISH. Universitas Brawijaya. Malang.
- Surur F. 2015. Strategi Adaptasi Nelayan Terhadap Perubahan – Perubahan Ekologis Danau Tempe di Desa Pallimae Kecamatan Sabbangparu Kabupaten Wajo. *Plano Madani*, 4 (1), 91-102.
- Suriawiria, Unus. 2003. *Air dalam Kehidupan dan Lingkungan yang Sehat*. Penerbit Alumni. Bandung
- Tafangenyasha, C. and T. Dzinomwa. 2005. Land-use Impacts on River Water Quality in Lowveld Sand River Systems in South-East Zimbabwe. *Land Use and Water Resources Research* 5 : 3.1-3.10. <http://www.luwrr.com>
- Triyatmo, B., 2001, Studi Limnologis Waduk Sermo pada Tahap Inundasi, *Jurnal Perikanan UGM III* (2):1-9. Jurusan Perikanan Fakultas Pertanian UGM.

- Triyatmo, B., 2001. Kajian Morfometri Berdasarkan Kondisi Topografi dan Estimasi Potensi Perikanan Waduk Sermo, Jurnal Perikanan UGM III (2): 27-35. Jurusan Perikanan Fakultas Pertanian UGM.
- Triyatmo, B., 2006. Limnologi. Bahan Ajar. Jurusan Perikanan Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada Jokjakarta.
- Umaly, R.B., 1988. Limnology. Laboratory and Field Guide Pshyco-Chemical Factors Biological Factor. National Book Store Publishers. ManilaPhilippinnes, 146 p.
- Watzel, R.G. 1975. Limnology. W.B. Saunders Co. Philadelphia
- Watzel, R.G., 1991. Limnological Analysis. Second Edition Springles Verlag New York, Inc 391 p
- Widjaja Adhi, I.P.G., K. Nugroho, D.S. Ardi dan S. Karama. 1992. Sumberdaya lahan rawa: potensi, keterbatasan dan pemanfaatan. Dalam ; S. Partoharjono dan M. Syam. (Eds.) Pengembangan terpadu lahan rawa pasang surut dan lebak. SWAMPS II. Puslitbangtan. Bogor.
- Wetzel, Robert G. (2001). Limnologi: *Lake and River Ecosystem* (edisi ketiga). New York: Academic Press. ISBN 978-0-12-744760-5.
- Willoughby, L.G. 1978. Freshwater Biology. Hutchinson. London
- Yogafanny, E. (2015). Pengaruh aktifitas warga di sempadan sungai terhadap kualitas air Sungai Winongo. Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan, 41-50.

BIOGRAFI PENULIS



Dr. Ir. Harlina, MP, dilahirkan di Mare, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan pada hari Kamis tanggal 1 Maret 1965, Putri ke dua dari pasangan Ayah H. Andi Usman, BA (Almarhum) dan Ibu Hj. Hafsah Tawa (Almarhumah). Menikah dengan H. Andi Muhammad Asra, SH dan dikaruniai tiga orang anak yaitu Andi Nur Auliyah Asra, SH, MH, dr. Andi Nur Fadhillah Asra, S.Ked. dan Andi Muhammad Aliffar Affan, SH serta 4 orang cucu Nabil, Azka, Syaafiq dan Syaamil

Menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SDN Inpres 10 Pattiwo Bajo, Kecamatan SibuluE Kabupaten Bone Sulawesi Selatan pada tahun 1976, Pendidikan Menengah Pertama di SMP Negeri SibuluE Kab Bone tahun 1980 dan pendidikan Menengah Atas di SMPP Negeri Watampone pada tahun 1983. Gelar Sarjana S1 diperoleh pada tahun 1987 pada Fakultas Peternakan Jurusan Perikanan Universitas Hasanuddin. Melanjutkan pendidikan Strata 2 (S2) pada Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin pada program studi Sistem-Sistem Pertanian jurusan Perikanan tahun 1994 dan memperoleh Gelar Magister Perikanan pada tahun 1996 dengan predikat "Cum Laude". Pada tahun 2011 melanjutkan pendidikan Strata 3 (S3) pada Program Doktor Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang minat Budidaya Perairan Tropis, dan memperoleh Gelar Doktor 2014 dengan predikat "Pujian" pada bidang keahlian pengendalian penyakit pada ikan dan udang. Memperoleh penghargaan sebagai wisudawan terbaik pada Program Doktor dalam acara Wisuda Sarjana Periode III tahun 2014 Universitas Brawijaya Malang.

Pengalaman bekerja diawali sebagai Asisten Dosen di Fakultas Perikanan Universitas Muslim Indonesia pada tahun 1987. Pada tahun 1988 diterima sebagai Dosen Tetap pada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Muslim Indonesia Makassar Sulawesi Selatan sampai sekarang. Penulis pernah diamanahkan sebagai Kepala Laboratorium Biologi Universitas Muslim Indonesia pada Tahun 1991-1994. Pada tahun 2001-2004 diamanahkan sebagai Sekertaris Jurusan Budidaya Perairan dan pada tahun 2009-2011 sebagai Ketua Jurusan Budidaya Perairan. Pada tahun 2014-2018 sebagai kepala Laboratorium Biologi Terpadu dan tahun 2018

sampai sekarang diamanahkan sebagai Ketua Program Studi Budidaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Muslim Indonesia, Makassar. Penulis aktif sebagai peneliti dan Pengabdian kepada masyarakat, mengikuti berbagai pelatihan, lokakarya, dan juga aktif ikut serta dalam pertemuan ilmiah serta menulis berbagai artikel ilmiah baik pada jurnal nasional maupun internasional.



Dr. Ir. Harlina, MP, dilahirkan di Mare, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan pada tanggal 1 Maret 1965, putri kedua dari pasangan Ayah H. Andi Usman, BA (almarhum) dan Ibu Hj. Hafsah A. Tawa. Menikah dengan H. Andi Muhammad Asra, SH dan dikaruniai tiga orang anak, yaitu Andi Nur Auliyah Asra, SH, MH, dr. Andi Nur Fadhilah Asra, dan Andi Muhammad Aliffar Affan, dan dikaruniai empat orang cucu,

Nabil, Azka, Syafiq dan Syaamil. Menempuh pendidikan di SDN Inpres 10 Pattiro Bajo, Kecamatan Sibulue, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan pada tahun 1976, SMP Negeri Sibulue, Kabupaten Bone tahun 1980, SMPP Negeri Watampone pada tahun 1983. Gelar Sarjana S1 diperoleh pada tahun 1987 pada Fakultas Peternakan Jurusan Perikanan Universitas Hasanuddin; Strata 2 (S2) pada Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin pada program studi Sistem-Sistem Pertanian Jurusan Perikanan tahun 1994 dan memperoleh Gelar Magister Perikanan pada tahun 1996 dengan predikat "Cum Laude". Pada tahun 2011, melanjutkan pendidikan Strata 3 (S3) pada Program Doktor Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang dengan minat Budi daya Perairan Tropis, dan memperoleh Gelar Doktor 2014 dengan predikat "Pujian" pada bidang keahlian pengendalian penyakit pada ikan dan udang. Memperoleh penghargaan sebagai wisudawan terbaik pada Program Doktor dalam acara Wisuda Sarjana Periode III tahun 2014 Universitas Brawijaya Malang. Pengalaman bekerja diawali sebagai Asisten Dosen di Fakultas Perikanan Universitas Muslim Indonesia pada tahun 1987. Pada tahun 1988 diterima sebagai Dosen Tetap pada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Muslim Indonesia di Makassar, Sulawesi Selatan, sampai sekarang. Penulis pernah diamanahkan sebagai Kepala Laboratorium Biologi Universitas Muslim Indonesia pada tahun 1991-1994. Pada tahun 2001-2004 diamanahkan sebagai Sekretaris Jurusan Budi daya Perairan, dan pada tahun 2009-2011 sebagai Ketua Jurusan Budi daya Perairan. Pada tahun 2014-2018 sebagai Kepala Laboratorium Biologi Terpadu, dan tahun 2018 sampai sekarang diamanahkan sebagai Ketua Program Studi Budi daya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Muslim Indonesia, Makassar. Penulis aktif sebagai peneliti dan pengabdian kepada masyarakat, mengikuti berbagai pelatihan, lokakarya, dan juga aktif ikut serta dalam pertemuan ilmiah serta menulis berbagai artikel ilmiah baik pada jurnal nasional maupun jurnal internasional.



ISBN 978-623-93224-1-0

