

Ahmad Ismail & Ahmad Badri Mohammad. 1995. Ekologi Air Tawar. Kuala Lumpur : DBP.

BAB I

PENGENALAN

Pengajian sistem air tawar boleh dianggap sebagai satu bidang yang baru diterokai kerana perkembangannya secara sistematik hanya bermula pada abad ke-19 dengan penulisan oleh F. A. Forel yang berjudul *Le Leman. monographie limnologique*. Beliau yang telah meletakkan asas pengajian limnologi (*Greek. limne* = paya), iaitu pengajian tasik Bertolak dari zaman beliau, pengajian habitat akuatik telah berkembang dari segi skop dan kaedah. Hasil daripada kajian-kajian yang telah dijalankan ini begitu mengagumkan. Dalam masa yang singkat, begitu banyak teori dan penemuan telah diketengahkan dan pengetahuan ini dapat membantu manusia dalam menguruskan persekitaran akuatik sebaik mungkin.

Bidang limnologi bukanlah terhad kepada kajian tumbuhan dan haiwan air tawar semata-mata. Sebagai satu disiplin, kajian bidang ini cuba mengupas dan mencari jawapan kepada segala fenomena yang berkaitan dengan persekitaran air tawar kerana habitat akuatik ini dilihat sebagai satu sistem. Maka, limnologi merupakan bidang sains yang luas rangkumannya dan melibatkan bukan sahaja disiplin zoologi, botani dan ekologi tetapi juga disiplin kimia, fizik, geologi, geografi, meteorologi dan disiplin-disiplin lain yang berkaitan. Bidang geologi membekalkan prinsip dan tatacara yang diperlukan untuk memahami asal usul lembangan tasik dan sistem saliran sungai di samping menerangkan proses yang bertanggungjawab membawa perubahan kepada lembangan habitat akuatik pada masa akan datang. Bidang geokimia pula menyumbangkan pengetahuan selain memberi

kefahaman tentang peranan substrat dalam mempengaruhi tabii kimia tasik, sungai, lombong, paya dan sistem akuatik lain. Proses asas yang menggerakkan sistem akuatik seperti penembusan cahaya, dinamik haba dan pergerakan air dijelaskan pula melalui pengetahuan disiplin fizik. Pengetahuan berhubung dengan metabolisme kitaran hidup tumbuhan dan haiwan di jasad air disumbangkan oleh disiplin biologi. Di samping itu, disiplin ini juga menerangkan pergerakan nutrien dan tenaga melalui komponen hidup dan tak hidup di ekosistem tersebut.

Bidang limnologi tidaklah berkembang secepat bidang oseanografi-pengajian samudera. Kepelbagaian dan kelimpahan hidupan laut yang lebih tinggi dan kepentingan ekonomi hidupan laut kepada manusia, telah menarik minat lebih ramai ahli sains untuk menerokai bidang ekologi samudera ini. Peruntukan yang besar sama ada daripada kerajaan atau daripada sumber-sumber lain, telah membantu memperkembangkan bidang ini. Kini, oseanografi merupakan bidang sains yang sudah kukuh dan mantap. Peralatan yang lengkap dan kemudahan penyelidikan yang ada membenarkan penyelidikan aktif dijalankan di merata dunia.

Perkembangan yang pesat dalam bidang oseanografi ini, walau bagaimanapun, turut membantu memperkembangkan pengetahuan persekitaran air tawar. Pengetahuan biologi dan perkembangan kaedah kajian yang telah terhasil daripada penyelidikan bidang oseanografi, dimanfaatkan oleh ahli limnologi yang menyesuaikan untuk kajian di habitat air tawar.

PRINSIP EKOLOGI

Memandangkan tema penulisan ini memberi penekanan yang lebih kepada habitat dan ekologi organisma air tawar, maka adalah dirasakan perlu untuk membincangkan beberapa konsep dan istilah asas ekologi di bab awal ini.

ISTILAH DAN TAKRIF

Perkataan ekologi diambil daripada perkataan Greek *oikos* yang bermaksud rumah atau dengan perkataan lain, habitat. Istilah ini mula-mula diperkenalkan oleh seorang ahli ekologi, Ernst Haeckel pada tahun 1869. Kini, istilah ekologi ini telah digunakan secara meluas dan merujuk kepada kajian saling hubungan antara organisma dengan persekitaran dan juga saling hubungan di kalangan kumpulan organisma itu sendiri.

Perlu ditekankan di sini bahawa organisma hidup (tumbuhan dan haiwan) tidak wujud secara terasing, sama ada secara individu mahupun sebagai satu kumpulan. Semua organisma saling bertindak antara satu dengan lain sama ada di kalangan spesies yang sama ataupun di kalangan spesies yang berlainan. Saling tindak ini termasuklah persaingan, pemangsaan dan hubungan parasit-perumah. Selain saling berhubungan antara organisma hidup dengan organisma hidup yang lain, biota ini juga turut saling bertindak dengan persekitaran fizikal dan kimia di sekeliling organisma-organisma ini.

Semasa proses saling tindak ini, kehadiran sesuatu organisma akan mempengaruhi organisma-organisma lain. Persekitaran tempat organisma ini hidup turut mengalami perubahan hasil daripada kewujudan biota ini. Sebaliknya, faktor-faktor persekitaran memainkan peranan penting dalam mempengaruhi tindak laku dan kewujudan organisma-organisma ini. Sebagai contoh? kandungan nutrien di persekitaran akuatik menentukan kelimpahan sesuatu spesies fitoplankton. Perkembangan spesies ini yang pesat akan mengubah kualiti air dan seterusnya menjadikan persekitaran tidak lagi sesuai untuk spesies tersebut. Maka, kita akan lihat perubahan komposisi fitoplankton secara bermusim.

Berbagai-bagai jenis organisma dan parameter persekitaran boleh diatur kepada beberapa aras. Dalam organisasi ini, aras asas diwakili oleh spesies (Rajah 1.1). Spesies merupakan kumpulan semula jadi yang boleh atau berpotensi untuk saling membiak antara satu dengan lain untuk menghasilkan zuriat yang subur tetapi tidak boleh saling membiak dengan ahli-ahli spesies yang lain. Kesemua individu daripada sesuatu spesies dalam sesuatu kawasan membentuk populasi. Beberapa populasi spesies yang wujud di sesuatu kawasan pula membentuk komuniti. Beberapa komuniti bersama-sama dengan persekitaran fizikal dan kimia membentuk ekosistem.

Bergantung pada bilangan komuniti dan dimensi persekitaran yang terlibat, ekosistem boleh dilihat dari beberapa sudut. Dari sudut yang luas, dunia ini sendiri boleh dianggap sebagai satu ekosistem tersendiri yang terdiri daripada berbagai-bagai komuniti daratan, komuniti air tawar dan komuniti marin. Pada sudut yang lebih sempit, lopak air di tepi jalan atau sebuah kolam kecil boleh dianggap sebagai satu ekosistem.

Secara sejagat, kita boleh juga melihat dunia ini terpisah kepada dua jenis ekosistem yang besar, ekosistem daratan dan ekosistem akuatik kerana kedua-dua sistem mempunyai komponen biotik dan abiotik yang saling bertindak. Ekosistem akuatik merangkumi skop yang luas dan untuk kemudahan manusia, ekosistem akuatik boleh dibahagikan lagi kepada beberapa jenis umum berdasarkan kandungan garam dan juga pergerakan air (Jadual 1.1).

KOMPONEN EKOSISTEM

Dengan beberapa pengecualian, matahari merupakan sumber unggul tenaga untuk kesemua ekosistem di bumi ini, sama ada ekosistem daratan mahupun ekosistem akuatik. Melalui proses fotosintesis, tumbuhan hijau memerangkap tenaga suria dan menggunakannya untuk menukar karbo!

dioksida dan air kepada karbohidrat. Tumbuhan juga menggunakan nutrien tak organik lain seperti nitrat, fosfat dan ion-ion berbagai-bagai logam untuk membentuk protein, asid nukleik dan pigmen yang diperlukan untuk fungsi fisiologi dan struktur. Disebabkan oleh kemampuan tumbuhan hijau menukar bahan tak organik kepada molekul organik, maka tumbuhan hijau dikenali sebagai organisma **autotrof** ataupun **penghasil**. Dalam ekosistem akuatik, penghasil diwakili terutamanya oleh komuniti fitoplankton yang terampai di air dan juga komuniti makrofit akuatik yang menduduki pinggir air.

Tumbuh-tumbuhan ini lambat laun akan mati. Namun begitu, jasad tumbuhan ini jarang-jarang menumpuk di ekosistem. Jasad organik ini akan melalui proses penguraian oleh sekumpulan organisma yang dikenali sebagai pengurai. Dalam proses mendapatkan tenaga dan nutrien daripada bahan mati ini, organisma pengurai membebaskan semula sebahagian nutrien kepada ekosistem. Nutrien ini seterusnya boleh digunakan oleh organisma autotrof. Maka, nutrien berkitar dalam sebarang ekosistem dan boleh digunakan semula beberapa kali. Berbeza daripada nutrien, tenaga tidak dikitar tetapi hilang secara berterusan daripada ekosistem. Sesuatu ekosistem yang tidak menerima tenaga matahari untuk satu jangka masa yang panjang akan menghadapi kemusnahan.

Daripada perbincangan di atas, bolehlah disimpulkan bahawa keperluan asas untuk sesuatu ekosistem ialah nutrien, tenaga, penghasil dan pengurai (Rajah 1.2). Tenaga dan nutrien merupakan **faktor abiotik**, manakala penghasil dan pengurai mewakili **faktor biotik**. Walau bagaimanapun, sebahagian daripada tumbuhan hijau dalam kebanyakan ekosistem dimakan oleh haiwan **herbivor**. Haiwan herbivor ini kadangkala dikenali sebagai **pengguna primer**. Pengguna primer kemudiannya sama ada mati dan diurai oleh organisma pengurai ataupun dimakan oleh **karnivor**.

(**pengguna sekunder**). Kemungkinan di dalam sesuatu ekosistem, terdapat haiwan lain yang bertindak sebagai **pengguna tertier** dan **pengguna kuarternier** .

Kesemua pengguna dan juga kebanyakan organisma pengurai digolongkan sebagai organisma **heterotrof**, iaitu organisma yang memakan bahan organik yang dihasilkan oleh organisma lain. Memandangkan organisma heterotrof tidak mampu membuat makanan sendiri, maka sesuatu ekosistem yang hanya mempunyai organisma heterotrof semata-mata sudah tentu tidak dapat dikekalkan selama-lamanya. Seperti telah diperkatakan sebelum ini, sesuatu ekosistem yang swa kekal sekurang-kurangnya memerlukan nutrien, autotrof dan pengurai, di samping mungkin mempunyai pengguna primer, pengguna sekunder dan pengguna peringkat yang lebih tinggi.

Secara kesimpulannya, bolehlah dikatakan bahawa organisma autotrof bertindak sebagai **asas penetapan tenaga** untuk keseluruhan ekosistem kerana tenaga yang tersimpan di dalam tumbuhan dipindahkan melalui beberapa organisma heterotrof (pengguna dan pengurai) sebelum dibebaskan ke persekitaran. Organisma autotrof juga merupakan **asas pemekatan nutrien** untuk ekosistem. Semasa pertumbuhan, tisu tumbuhan dibentuk daripada **makronutrien** dan **mikronutrien** yang diserap dari air, tanah dan udara di sekeliling. Nutrien ini dipekatkan, seterusnya dipindahkan di kalangan pengguna heterotrof (termasuk bakteria dan kulat yang menguraikan bahan organik). Tindakan penguraian oleh kulat dan bakteria ini seterusnya membantu membebaskan nutrien ini semula ke persekitaran dan membolehkan organisma autotrof menggunakan nutrien ini.

ARAS TROFIK

Kita perhatikan bahawa ekosistem diatur berdasarkan bagaimana spesies yang berbeza mendapat tenaga. Ini membawa kita kepada konsep **aras trofik** yang telah diperkenalkan pada tahun 1942 oleh seorang ahli ekologi Amerika Syarikat yang bernama **Lindeman**. Kesemua spesies yang mendapat tenaga daripada sumber sepunya membentuk satu aras trofik. Alga dan tumbuhan akuatik yang hidup di tasik mewakili satu aras trofik; kedua-dua organisma ini mendapat tenaga daripada matahari. Aras trofik kedua pula terdiri daripada haiwan pemakan tumbuhan (**herbivor**) dan aras trofik yang lebih tinggi terdiri daripada **karnivor**. Semasa peralihan tenaga ini, kita perhatikan bahawa tenaga hilang secara berterusan pada setiap aras trofik yang dilalui dan kehilangan ini disebabkan oleh penggunaan dan kematian. Jumlah sebenar tenaga yang terkumpul pada setiap aras menggambarkan keseimbangan antara input dengan output tenaga di dalam ekosistem.

Aras trofik merupakan kategori fungsi dan sangat penting dalam membincangkan pengaliran tenaga dan kitaran nutrien dalam ekosistem. Disebabkan banyak haiwan mempunyai diet yang pelbagai, agak sukar untuk menetapkan sesuatu spesies kepada satu aras trofik yang khusus. Terdapat banyak haiwan yang boleh mendapat tenaga lebih daripada satu punca. Sebagai contoh, kebanyakan ikan di tasik menunjukkan sifat pemakanan **omnivor**. Ikan-ikan ini boleh diletakkan pada dua aras trofik yang berasingan. Sekiranya ikan ini memakan ikan kecil, maka ikan ini bertindak sebagai pengguna sekunder (karnivor). Sebaliknya, sekiranya ikan ini memakan tumbuhan akuatik, ikan ini bertindak sebagai pengguna primer (herbivor).

Di samping mempunyai diet yang pelbagai, ada haiwan yang mengubah dietnya mengikut peringkat umur. Maka, organisma ini boleh diasingkan

kepada dua kategori yang berlainan berasaskan peringkat perkembangannya. Sebagai contohnya, berudu yang memakan diatom atau tumbuhan akuatik bertindak sebagai herbivor, manakala katak dewasa bertindak sebagai karnivor. Walau bagaimanapun, kategori yang diberikan dalam Jadual 1.2 sangat berguna sebagai asas permulaan dalam membincangkan hubungan pemakanan.

JARINGAN MAKANAN

Rantaian makanan merupakan satu siri organisma yang saling menyediakan bekalan makanan untuk organisma seterusnya. Dengan kata lain, rantaian makanan bermaksud satu jujukan *siapa memakan siapa*. Pergerakan tenaga daripada fitoplankton kepada zooplankton kepada ikan atau daripada bakteria kepada protozoa kepada siput, merupakan contoh rantaian makanan di sistem akuatik. Rantaian makanan jarang-jarang wujud dalam bentuk jujukan yang terasing. Rantaian makanan selalunya saling berkaitan antara satu dengan lain dan keseluruhan corak ini dikenali sebagai **jaringan makanan**. Jaringan makanan kadang-kala boleh mengambil bentuk yang sangat kompleks seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.3.

Piramid bilangan boleh digunakan untuk menggambarkan pengurangan bilangan organisma pada setiap aras trofik (Rajah 1.4). Piramid bilangan memerlukan kita menghitung bilangan organisma pada setiap aras trofik tanpa mengambil kira saiz organisma yang terlibat. Bentuk piramid menggambarkan hitungan sebenar individu dalam satu kawasan yang ditentukan. Pada dasarnya, tapak piramid (organisma autotrof) adalah lebar dan semakin meruncing ke puncak. Kadang-kadang wujud keganjilan kerana bilangan autotrof yang kecil menyokong populasi organisma di aras trofik yang lebih tinggi. Keadaan ini berlaku sekiranya satu tumbuhan akuatik menyumbangkan makanan kepada populasi serangga herbivor yang besar bilangannya.

Satu lagi pendekatan untuk menentukan peruntukan tenaga untuk setiap aras trofik ialah dengan menimbang individu untuk setiap aras. Ini memberi kita **piramid biojisim** (jumlah berat organisma dalam sesuatu kategori). Bagi kebanyakan ekosistem di daratan, piramid biojisim mempunyai tapak penghasilan primer yang besar dan semakin kecil di atas (Rajah 1.5a). Di persekitaran akuatik, keadaan terbalik mungkin wujud kerana tapak penghasilan yang kecil menyokong komuniti heterotrof yang lebih besar. Keadaan ini terjadi disebabkan organisma penghasil terdiri daripada komuniti fitoplankton yang seni. Fitoplankton ini hidup dan membiak dengan cepat. Perkembangannya yang cepat dan peningkatan populasinya yang besar disusuli pula dengan kematiannya yang mendadak. Pusing ganti yang pantas ini mewujudkan piramid biojisim yang terbalik (Rajah 1.5b).

Disebabkan tenaga hilang pada setiap langkah, jarang-jarang terdapat lebih daripada **lima** aras trofik dalam ekosistem akuatik mahupun ekosistem daratan. Pada setiap aras trofik, tenaga akan hilang melalui proses respirasi dan perkumuhan. Kehilangan tenaga ini bermakna bahawa semakin kurang tenaga yang boleh disalurkan ke aras trofik seterusnya. Dengan kata lain, semasa penyaluran tenaga dari satu aras ke aras seterusnya, tenaga semakin berkurangan dan selepas disalurkan ke aras kelima, kesemua tenaga telah tiada lagi untuk disampaikan ke aras keenam.

Rajah 1.6 menunjukkan pengaliran tenaga tahunan di ekosistem akuatik di Silver Springs, Florida, Amerika Syarikat. Input tenaga suria yang sampai ke ruang angkasa lepas dianggarkan sebanyak 1700×10^4 kilokalori. Daripada jumlah tenaga ini, lebih kurang 98.6 peratus hilang di angkasa dan tidak sampai ke muka bumi. Tenaga ini sama ada di pantul kembali ke angkasa lepas atau diserap oleh campuran gas, debu dan zarah pepejal yang membentuk atmosfera.. Lapisan ozon pula bertanggungjawab menyerap sebahagian besar sinar ultralembayung.

Daripada jumlah tenaga suria yang sampai ke bumi, hanya 1.2 peratus diperangkap oleh pigmen tumbuhan dan tenaga ini digunakan untuk menjanakan biojisim tumbuhan baru melalui proses fotosintesis. Daripada hasil fotosintesis yang terbentuk, lebih daripada 63 peratus digunakan dalam metabolisme tumbuhan itu sendiri.

Hanya 16 peratus daripada hasil fotosintesis yang terbentuk oleh tumbuhan hidup dapat digunakan oleh herbivor, manakala bakinya yang lain diurai oleh bakteria dan kulat. Seterusnya pula, tenaga yang terkandung di dalam herbivor kebanyakannya digunakan oleh metabolisme haiwan dan juga memasuki sistem pengurai. Tenaga diperlukan untuk menjalankan fungsi normal seperti perkumuhan, proses pemakanan, pengaliran darah dan aktiviti kelakuan. Di samping itu, tenaga juga diperlukan untuk penyelenggaraan dan pembaikan tisu.

Hanya 11.4 peratus tenaga digunakan oleh karnivor. Sekali lagi kita dapati karnivor menggunakan kebanyakan tenaga yang diambil dan hanya 5.5 peratus tenaga dihantar kepada karnivor peringkat tinggi. Pengurai akan mengitarkan semua biojisim yang diterima daripada semua aras trofik dan akhirnya 5060 kilokalori akan muncul sebagai haba yang terhasil semasa metabolisme.

Selain daripada kehilangan tenaga pada setiap aras trofik, aras trofik di dalam sesuatu ekosistem jarang-jarang melebihi empat atau lima aras kerana dua sebab lagi. Pertama, tidak semua makanan yang sedia ada pada satu aras trofik digunakan sepenuhnya oleh haiwan pada aras seterusnya. Hal ini berlaku disebabkan oleh kesukaran haiwan mencari makanan dan juga sesetengah daripada makanan ini tidak boleh digunakan (contohnya tulang, batang pokok dan tumbuhan beracun). Di samping itu, kelimpahan kebanyakan organisma dihadkan oleh pemangsa, penyakit serta iklim dan

menjadikan bilangan haiwan ini lebih rendah daripada sepatutnya yang boleh disokong oleh bekalan makanan yang ada.

Kedua, bukan semua makanan yang dimakan sebenarnya berguna. Pertumbuhan organisma dikawal oleh faktor pengehad seperti yang telah dirumuskan oleh **Liebig** pada tahun 1840. Beliau mendapati bahawa perkembangan sesuatu organisma ditentukan oleh makanan yang wujud dalam kuantiti yang paling sedikit.. Hukum ini dikenali sebagai **hukum minimum**.

Daripada perbincangan di atas, bolehlah disimpulkan bahawa terdapat dua arah aliran tenaga melalui ekosistem: **jaringan makanan ragutan** dan **jaringan makanan detritus** (Rajah 1.7).

Jaringan makanan ragutan bermula dengan penggunaan tisu tumbuhan hidup oleh herbivor, yang seterusnya dimakan oleh karnivor. Pada setiap peralihan tenaga, secara purata hanya **sepuluh peratus** ditetapkan dalam haiwan di aras trofik seterusnya. Ini bermaksud bahawa daripada 1000 kilokalori tenaga dalam tisu tumbuhan yang dimakan oleh herbivor, 100 kilokalori akan ditukar kepada tisu herbivor. Daripada 100 kilokalori tisu herbivor yang dimakan oleh karnivor primer, hanya 10 kilokalori akan ditukar kepada tisu karnivor primer. Karnivor sekunder hanya akan mendapat 1 kilokalori untuk setiap 10 kilokalori yang dimakan.

Selain daripada jaringan makanan ragutan, tenaga juga boleh disalurkan melalui jaringan makanan detritus. Bagi jaringan makanan ini, pengurai menggunakan bahan buangan organik dan tisu mati. Bahan-bahan organik ini secara kumpulan dikenali sebagai **detritus**. Seperti jaringan makanan ragutan, jaringan makanan detritus juga mempunyai struktur trofik. Tisu tumbuhan yang mati (penghasil primer) digunakan oleh mikroflora, bakteria dan kulat. Organisma-organisma pengguna primer ini kemudiannya

menyediakan sumber tenaga untuk haiwan invertebrat yang pada amnya bertindak sebagai pengguna sekunder. Walaupun bagaimanapun, kedudukan haiwan invertebrat dalam keadaan tertentu kurang jelas memandangkan organisma invertebrat ini boleh memakan detritus secara langsung (dalam kes ini bertindak sebagai pengguna primer). Pengguna sekunder seterusnya menyediakan tenaga untuk pengguna tertier dan pengguna kuarternier .

Sebenarnya jaringan makanan detritus tidak boleh dipisahkan daripada jaringan makanan ragutan. Kedua-dua jaringan makanan ini saling berhubung antara satu dengan lain. Selain daripada jasad tumbuhan, jasad haiwan yang mati dan najis haiwan daripada jaringan ragutan akan diuraikan oleh organisma pengurai. Di samping itu, organisma yang terdapat di jaringan makanan detritus menyediakan makanan untuk haiwan di jaringan makanan ragutan.

Oleh itu, terdapat dua arah laluan yang saling melengkapi di dalam sesuatu ekosistem: satu arah laluan berasaskan tisu tumbuhan hidup dan yang satu lagi berasaskan detritus. Setiap arah laluan mempunyai struktur yang boleh dicamkan. Walaupun setiap arah laluan bertindak secara selari, namun kedua-dua arah laluan berkaitan rapat antara satu dengan lain. Selain daripada jasad tumbuhan, organisma peragut detritus juga mendapat tenaga daripada jasad mati dan najis haiwan dari sebarang aras trofik di jaringan makanan ragutan.

PERBANDINGAN ANTARA EKOSISTEM DARATAN DENGAN EKOSISTEM AKUATIK .

Memang benar, prinsip ekologi boleh digunakan di kedua-dua ekosistem daratan dan juga ekosistem akuatik. Namun begitu, disebabkan oleh ciri fizikal dan kimia air yang unik, terdapat perbezaan ketara dari segi organisasi komuniti akuatik jika dibandingkan dengan komuniti daratan.

PERBEZAAN FIZIKAL DAN KIMIA

Perbezaan utama antara kedua-dua ekosistem ini ialah dari segi medium. Di persekitaran akuatik, medium utamanya ialah air, manakala udara merupakan medium utama di persekitaran daratan. Ketumpatan air ialah 775 kali lebih berat daripada udara pada suhu dan tekanan piawai. Ketumpatan yang besar ini menjadikan organisma-organisma akuatik mempunyai daya keapungan yang tinggi. Daya keapungan dan sokongan yang diberikan oleh air juga membolehkan organisma-organisma ini mengurangkan keperluan untuk memiliki struktur rangka yang berat. Sebaliknya, sesuatu tumbuhan daratan tidak mendapat sokongan seperti ini dan oleh itu tumbuhan di sistem ini perlu membentuk struktur khusus untuk membolehkannya tegak menentang daya graviti.

Disebabkan tumbuhan akuatik dikelilingi oleh air, maka masalah untuk mendapatkan bekalan air dan mineral terlarut yang dihadapi di daratan tidak timbul. Di daratan, tumbuhan bukan sahaja menghadapi masalah untuk mendapatkan bekalan air, malahan tumbuhan ini, juga berdepan dengan masalah mengekalkan air yang terkandung di dalam jasadnya. Protoplasma organisma hidup mengandungi 80 hingga 90 peratus air dan kandungan air ini perlu . dikekalkan supaya sesuatu sel boleh berfungsi dengan baik.

Di persekitaran akuatik terdapat satu komuniti yang terampai, **komuniti plankton** , yang terhasil daripada sifat pengapungan yang diberikan oleh air. Kewujudan dan kehadiran komuniti plankton telah memperkembangkan pula **komuniti penuras** yang mempunyai penyesuaian untuk menggunakan komuniti plankton sebagai sumber makanan. Memandangkan air di sekeliling mengandungi makanan yang terampai, kebanyakan organisma penuras ini bersifat sesil. Kedua-dua komuniti ini merupakan komuniti yang unik untuk persekitaran akuatik dan komuniti ini tidak ditemui di habitat daratan.

Berbeza dengan udara, air menyerap cahaya dengan kuat. Cahaya hanya boleh menembusi air hingga ke aras tertentu (**zon eufotik**) sebelum dapat diserapkan sepenuhnya. Oleh itu, kebanyakan isipadu air berada dalam kegelapan tanpa cahaya. Ini bermakna bahawa **produktiviti primer** terhadap kepada satu jalur yang sempit di permukaan air sahaja atau di pinggiran jasad air yang cetek.

Berenang di air tidak memerlukan tenaga yang banyak, tetapi untuk melakukan pergerakan di daratan banyak memerlukan tenaga. Untuk bergerak, haiwan daratan memerlukan tenaga yang lebih besar jika dibandingkan dengan fauna akuatik. Tenaga yang lebih besar diperlukan kerana (1) pergerakan di daratan melawan graviti, dan (2) jasad fauna daratan mempunyai struktur rangka yang berat. Perbezaan penggunaan tenaga antara organisma daratan dengan organisma akuatik dapat dikesan daripada sebatian biokimia utama yang terkumpul di jasad organisma-organisma ini. Di kalangan organisma daratan, sebatian utamanya terdiri daripada **karbohidrat** sedangkan bagi organisma akuatik ialah **protein**. Organisma yang mempunyai karbohidrat merupakan organisma yang hidup lama, membesar lambat dan kaya dengan tenaga tersimpan. Organisma yang terdiri daripada protein pula merupakan organisma yang membesar cepat dan tidak mempunyai tenaga tersimpan yang banyak.

Dari segi kandungan oksigen, kandungan oksigen adalah malar di udara, iaitu kira-kira 21 peratus daripada isipadu udara. Berbeza dengan udara, kemampuan memegang oksigen oleh molekul air adalah rendah. Kemasukan oksigen ke sistem akuatik bergantung pada proses fotosintesis dan juga proses penyerapan dari atmosfera. Kemampuan penyerapan oksigen udara ke dalam air pula dipengaruhi oleh suhu. Peningkatan suhu air sama ada secara semula jadi atau disebabkan pencemaran akan mengurangkan daya

penyerapan oksigen. Jadi, komuniti di sistem akuatik sentiasa terdedah kepada turun naik oksigen.

PERBEZAAN FUNGSI DAN STRUKTUR

Perbezaan yang paling ketara antara komuniti daratan dengan komuniti akuatik ialah kedominan tumbuhan berbunga yang besar di ekosistem daratan, contohnya di hutan. Tumbuh-tumbuhan ini mempunyai hayat yang panjang. Di ekosistem akuatik pula, autotrof dominan terdiri daripada tumbuhan mikroskopik daripada berbagai-bagai kumpulan alga. Berkaitan dengan ini, maka herbivor dominan juga terdiri daripada organisma seni: kopepod mikroskopik. Berbeza pula di daratan, herbivor utamanya terdiri daripada haiwan yang berbadan besar seperti gajah dan seladang.

Selain daripada mempunyai saiz yang besar dan hayat yang panjang, sebahagian besar tumbuhan daratan membentuk struktur yang keras seperti kayu dan serat yang tidak boleh atau sukar dihadam oleh kebanyakan haiwan herbivor. Ini bermakna bahawa walaupun penghasilan bahan organik adalah tinggi, tetapi kecekapan mengalihkan tenaga daripada aras pertama ke aras kedua adalah lebih rendah. Herbivor daratan ini pula pada amnya mempunyai hayat yang lebih pendek daripada tumbuhan itu sendiri. Sebaliknya, walaupun produktiviti primer pada amnya lebih rendah di persekitaran akuatik, namun herbivor akuatik cekap dalam pengalihan tenaga. Pada amnya, keseluruhan jasad tumbuhan digunakan untuk herbivor. Berbeza dengan organisma daratan, organisma heterotrof akuatik mempunyai hayat yang lebih panjang daripada tumbuhan autotrof.

Dari segi aras trofik, rantai makanan di ekosistem akuatik pada amnya terdiri daripada lima aras manakala rantai makanan di ekosistem daratan terdiri daripada tiga aras sahaja. Perbezaan ini terhasil daripada tabii mikroskopik tumbuhan dan herbivor akuatik. Haiwan yang bersaiz besar di

jasad air merupakan haiwan pengguna aras yang lebih tinggi (pemangsa). Di daratan pula, haiwan yang besar seperti lembu dan kambing merupakan herbivor.

BAB 2

Ekosistem Tasik dan Sungai

Tasik boleh ditakrifkan sebagai jasad air tawar separa tertutup yang dilingkungi oleh daratan. Memandangkan air tasik boleh dikatakan tidak bergerak atau dengan kata lain bertakung, maka tasik membentuk habitat lentik (*lentus* = lembap). Dari segi ini, ekosistem tasik berbeza daripada ekosistem sungai kerana sungai merupakan habitat lotik (*lautus* = membersihkan), iaitu persekitaran air yang mengalir.

PENZONAN TASIK

Ekosistem tasik merangkumi segala habitat dari permukaan hinggalah ke dasar. Tasik boleh "dibahagikan kepada beberapa zon sama ada secara menegak mahupun secara mengufuk. Kajian-kajian yang telah dilakukan oleh ahli limnologi telah menghasilkan berbagai-bagai jenis pengelasan. Antara begitu banyak skema pembahagian persekitaran tasik yang telah diutarakan, skema yang telah dicadangkan oleh **Hutchinson** (1967) diikuti di sini. Skema ini (Rajah 2.1) telah digunakan dengan begitu meluas di kalangan pengkaji sistem akuatik.

Mengikut skema ini, persekitaran tasik boleh dibahagikan kepada dua bahagian asas: zon limnetik dan zon bentik. **Zon limnetik** atau kadangkala dikenali juga sebagai **zon pelagik** merupakan zon tasik yang tidak dipengaruhi langsung oleh bahagian dasar atau pinggir tasik. Dengan kata lain, air tasik itu sendiri membentuk persekitaran limnetik. Untuk berjaya hidup di persekitaran ini, penghuni zon ini mestilah mampu untuk berenang

atau sekurang-kurangnya terapung ataupun terampai. Maka, kita dapati **plankton** dan **nekton** membentuk komuniti yang penting di zon ini.

Bergantung pada kadar cahaya suria yang sampai di permukaan air, zon limnetik ini seterusnya boleh dibahagikan pula secara menegak kepada beberapa zon cahaya. Lapisan air yang menerima cahaya yang banyak dan terdapat percampuran air yang baik dikenali sebagai zon **eufotik** (*eu* = *sebenar*, *fotik* = cahaya). Zon euphotik ini, yang menjangkau dari permukaan tasik hingga ke aras yang keamatan cahayanya lebih kurang satu peratus keamatan cahaya di permukaan air, merupakan **zon sintesis** sebatian organik karbon. Sebatian organik dibentuk melalui proses fotosintesis oleh organisma fototrof yang terdiri terutamanya daripada komuniti fitoplankton. Kadar fotosintesis didapati melebihi daripada kadar respirasi yang dilakukan oleh organisma akuatik, termasuklah respirasi yang dilakukan oleh tumbuhan autotrof itu sendiri. Oleh sebab itulah zon ini kadangkala disebut zon trofogen (*trofo* = makanan, *gen* = bentuk). Had zon euphotik ditentukan oleh kemampuan cahaya suria untuk menembusi air tasik. Had ini tidak tetap dan sentiasa berubah-ubah dari masa ke masa. Sebagai contoh, terdapat perbezaan antara had zon euphotik pada waktu pagi dengan waktu petang. Di samping itu, had ini berubah mengikut musim. Perubahan *zon* euphotik adalah berkaitan dengan beberapa faktor seperti penyerapan cahaya oleh atmosfera, sudut matahari, permukaan tasik dan juga kejernihan air yang mempengaruhi penembusan cahaya ke dalam jasad air.

Di bawah zon euphotik terletak **zon afotik** (*a* = tiada, *fotik* = cahaya). Di lapisan air ini, aras cahaya terlalu rendah untuk fotosintesis berlaku dengan baik. Zon ini juga dikenali sebagai zon **trofolitik** (*trofo* = makanan, *litik* = musnah) kerana kadar penguraian bahan organik oleh bakteria dan kulat di sini adalah tinggi. Dalam proses ini, oksigen digunakan dan menjadikan kandungan oksigen di dalam air rendah.

Kedua-dua zon eufotik dan afotik ini dipisahkan oleh satu zon yang disebut **zon pampasan**. Pada lapisan air ini, kadar fotosintesis adalah seimbang dengan kadar respirasi.

Bahagian tasik yang berkaitan dengan dasar membentuk apa yang dikenali sebagai **persekitaran benthik**. Persekitaran benthik ini boleh dipisahkan kepada beberapa zon berdasarkan aras air dan juga jenis tumbuhan yang boleh dijumpai.

Zon epilitoral dan **supralitoral** ialah zon-zon di atas aras air. Zon epilitoral lebih merupakan kawasan daratan kerana zon ini ditumbuhi oleh tumbuhan daratan. Zon ini tidak ada kaitan langsung dengan air tasik. Zon supralitoral terletak di bawah zon epilitoral dan masih dianggap sebagai kawasan daratan. Namun begitu, dari masa ke masa, zon ini menerima percikan ombak dan kawasannya pada amnya agak lembap. Bolehlah dikatakan zon supralitoral membentuk satu ekosistem yang unik memandangkan kedudukan zon ini bersifat peralihan antara persekitaran akuatik dengan daratan.

Persekitaran akuatik sebenar bermula dari zon litoral hinggalah ke zon profundal. Berdasarkan aras air, zon **litoral** boleh dibahagikan kepada dua zon utama: **eulitoral** dan **infralitoral**. Zon eulitoral ialah kawasan tasik yang terendam air hanya pada waktu aras air tinggi. Apabila aras air turun, maka kawasan ini akan terdedah kepada udara. Berbeza dengan zon eulitoral, zon infralitoral sentiasa direndami air. Bergantung pada kehadiran dan taburan makrofit akuatik, zon infralitoral boleh dibahagikan lagi kepada tiga bahagian: **infralitoral atas** (zon makrofit muncul); **infralitoral tengah** (zon makrofit berdaun terapung) dan **infralitoral bawah** (zon makrofit tenggelam).

Zon litoral (eulitoral dan infralitoral) merupakan kawasan pinggir tasik yang cetek. Oleh itu, zon ini sentiasa terdedah kepada turun naik suhu. Hakisan tebing oleh tindakan ombak kerap terjadi. Tindakan suhu dan ombak ini mengakibatkan bahagian dasar zon litoral terdiri daripada sedimen yang agak kasar. Zon litoral menunjukkan kepelbagaian yang tinggi dari segi habitat dan nic. Tumbuhan makrofit yang didapati di sini menyediakan berbagai-bagai habitat untuk organisma **epizoit** dan **perifiton**. Di samping itu, bahagian sedimen boleh menyokong kepelbagaian haiwan dasar atau **bentos** yang tinggi. Pada amnya, tasik yang mempunyai zon litoral yang luas memperlihatkan produktiviti yang tinggi.

Di bawah zon litoral wujud pula zon **sublitoral**, iaitu zon air dalam yang bebas daripada sebarang tumbuhan akuatik yang berakar umbi di dasar. Walaupun zon ini agak gelap, namun zon ini masih dapat menyokong beberapa kumpulan alga dan bakteria fotosintesis. Organisma ini mempunyai pigmen aksesori yang berupaya menggunakan cahaya berkeamatan rendah. Hasil daripada aktiviti organisma ini, kandungan oksigen di kawasan ini pada amnya tinggi. Sedimen di zon ini mempunyai tekstur yang lebih halus jika dibandingkan dengan zon litoral.

Bahagian tasik yang sangat dalam, gelap dan tidak berarus dikenali sebagai zon **profundal**. Suhu rendah yang seragam dan kandungan oksigen yang sangat rendah turut mencirikan zon ini. Disebabkan oleh kehadiran **asid karbonik**, pH air selalunya rendah. Zon ini juga boleh dikenali dengan kewujudan **gas metana** dan **karbon dioksida** yang tinggi. Keadaan persekitarannya yang begitu ekstrem ini tidak membenarkan zon ini didiami oleh sebarang organisma fotosintesis.

JENIS DAN TABURAN ORGANISMA DI PERSEKITARAN AKUATIK

Pada masa sekarang, terdapat begitu banyak pengelasan telah diutarakan untuk menerangkan **taburan ruang** organisma yang mendiami habitat akuatik. Pengelasan itu pada amnya boleh digunakan bukan sahaja untuk persekitaran air tawar tetapi juga persekitaran air masin. Berdasarkan pengelasan am yang digunakan secara meluas, tumbuhan dan haiwan akuatik boleh dibahagikan kepada enam kumpulan atau komuniti utama: **plankton, nekton, bentos, perifiton, pleuston dan makrofit akuatik**.

Di jasad air, sama ada di tasik, kolam, paya, lombong ataupun sungai, sebahagian besar organisma hidup secara terampai di air. Jenis organisma ini, yang biasanya bersaiz mikroskopik dan mempunyai daya pergerakan yang terhad, membentuk komuniti yang dikenali sebagai **plankton**. Oleh sebab pergerakan komuniti plankton terhad, maka taburan organisma ini dipengaruhi oleh ombak dan arus. Disebabkan itu, plankton merupakan komponen yang lebih penting di tasik jika dibandingkan di sungai kerana tasik menyediakan persekitaran yang berair tenang. Pergerakan air yang deras di sungai tidak membenarkan komuniti organisma ini berkembang dengan baik.

Selain daripada plankton, air juga menjadi habitat untuk fauna yang berenang bebas. Seperti ikan, kura-kura, katak dan ular. Haiwan-haiwan ini mempunyai daya pergerakan yang kuat dan taburannya tidak dipengaruhi oleh pergerakan air. Haiwan ini boleh menentukan sendiri kedudukannya di jasad air. Sebagai satu kumpulan di dalam ekosistem, haiwan ini dikenali sebagai **nekton**.

Istilah **bentos** pada mulanya dirujuk untuk sebarang kumpulan organisma yang mempunyai hubungan dengan dasar tanpa mengira sama ada organisma ini tumbuhan atau haiwan. Kini istilah ini kerap digunakan untuk

menerangkan hanya kumpulan haiwan yang hidup atau sekurang-kurangnya mempunyai pertalian rapat dengan substrat. Cacing oligoket, cacing nematod, turbelaria, moluska dan larva serangga merupakan fauna yang biasa membentuk komuniti bentos.

Istilah **perifiton** pula pada amnya merujuk kepada pertumbuhan mikroflora (alga dan bakteria) di atas substrat yang terendam. Bergantung pada jenis substrat, perifiton boleh di- bahagikan kepada beberapa kategori (Jadual 2.1). Bacteria dan alga yang membentuk lapisan berlendir di batu, kayu atau substrat lain yang terendam ini kadangkala dikenali juga dengan perkataan Jerman *aufwuch*.

Beberapa organisma khusus, pleuston, mempunyai penyesuaian untuk hidup di lapisan antara udara dengan permukaan air. Tergolong dalam kategori ini ialah beberapa organisma makroskopik seperti kiambang (contohnya Lemna dan Pistia) dan beberapa jenis serangga seperti Gerris. Komponen mikroskopik pleuston seperti bakteria dan alga secara umum dikenali sebagai neuston. Neuston yang tinggal di bahagian atas permukaan air dikenali sebagai epineuston, manakala yang tinggal di bahagian bawah permukaan air dikenali sebagai hiponeuston.

Zon bentik menyediakan substrat untuk pertumbuhan satu lagi komuniti, makrofit akuatik. Bergantung pada spesies, bahagian pangkal tumbuhan ini boleh hidup terendam di dalam air, manakala bahagian pucuknya muncul di permukaan. Makrofit akuatik ini merangkumi tumbuhan vaskular dan juga tumbuhan bukan vaskular. Taburan tumbuhan autotrof ini terhad kepada kawasan litoral tasik atau sungai yang cetek. Selain daripada komuniti fitoplankton, komuniti makrofit akuatik merupakan penghasil primer dalam persekitaran akuatik. Walaupun haiwan akuatik jarang-jarang memakan makrofit secara langsung, namun tumbuhan yang mati menyumbangkan asas kepada jaringan makanan detritus.

KEPELBAGAIAN HIDUPAN AKUATIK

Boleh dikatakan setiap habitat akuatik di muka bumi ini didiami oleh organisma daripada kumpulan haiwan dan juga tumbuhan. Walau bagaimanapun, komposisi biota sungguh berbeza antara satu persekitaran akuatik dengan persekitaran akuatik yang lain. Secara umum, kepelbagaian taksonomi fauna dan flora yang mendiami jasad air begitu menakjubkan. Boleh dikatakan kesemua kumpulan utama organisma boleh dijumpai di habitat akuatik. Kumpulan organisma ini disenaraikan dalam Jadual 2.2.

EKOSISTEM SUNGAI

Walaupun sungai dan tasik merupakan ekosistem akuatik yang medium utamanya ialah air, namun terdapat perbezaan besar antara kedua-dua ekosistem ini. Perbezaan utama adalah dari segi pergerakan air dan bahan. Pergerakan air satu arah merupakan ciri sungai. Sungai lembut dan berselut. Sepanjang pengaliran air ke laut, sungai menempuhi kecerunan setempat dan substrat (batuan yang rintang dan juga tidak rintang) yang berlainan. Perbezaan ini mewujudkan **lubuk** dan **jeram** di sepanjang saliran sistem sungai. Lubuk merupakan kawasan pemendakan dan dicirikan oleh dasar yang berselut. Lubuk membentuk satu **persekitaran lentik** (air tidak bergerak) di sungai yang agak berbeza komposisi faunanya daripada kawasan jeram. Berbeza dengan lubuk, kawasan jeram merupakan kawasan air laju dan cetek. Proses hakisan yang pesat di sini menjadikan dasar kawasan jeram terbentuk daripada batu dan kelikir.

Struktur komuniti akuatik di sungai dipengaruhi oleh perubahan faktor abiotik dari hulu ke muara. Mengikut **konsep kontinum sungai**, komuniti biota perlu menyesuaikan kepada keadaan fisiokimia dan dinamik yang berbeza di sepanjang aliran sungai. Berdasarkan konsep ini, sungai dibahagikan kepada tiga bahagian utama: hulu sungai (*headwater*), sungai pertengahan (*middle reach*) dan muara (*lowermost reach*).

Pada amnya, **hulu sungai** menunjukkan ciri **heterotrop**, iaitu tenaga yang digunakan dalam proses respirasi oleh komuniti haiwan dan tumbuhan melebihi tenaga yang ditetapkan oleh proses fotosintesis. Keadaan ini wujud disebabkan bahagian sungai ini pada amnya redup kerana dinaungi oleh tumbuhan yang hidup di tebing sungai. Tumbuhan daratan ini juga bertanggungjawab menyumbangkan sarap seperti daun, kulit kayu dan dahan ke dalam sistem. Komuniti makroinvertebrat kebanyakannya diwakili oleh **penghancur** (*shredder*) dan **pengumpul** (*collector*). Penghancur merupakan spesies bentos yang memakan bahan organik yang kasar (daun dan kulit kayu), manakala pengumpul pula ialah organisma yang menuras zarah organik yang halus daripada air ataupun yang ditemui di dasar. Satu lagi ciri hulu sungai ialah kemasukan **bahan organik zarah** yang kasar dari sistem daratan.

Berlainan daripada hulu sungai, **sungai pertengahan** pula dicirikan oleh sifat **autotrop**. Tumbuhan daratan yang sedikit di tebing sungai, ditambah pula dengan keadaan air yang jemih dan cetek, membenarkan fotosintesis kasar melebihi respirasi komuniti. Keadaan ini menggalakkan perkembangan tumbuhan akuatik di tepi sungai. Makroinvertebrat diwakili kebanyakannya oleh **pengumpul** dan **peragut** (*grazer*). Peragut merupakan organisma bentos yang memakan alga dan bahan organik lain yang melekat di permukaan yang terendam. Di sungai pertengahan, kemasukan bahan organik zarah yang kasar dari persekitaran daratan semakin berkurangan, manakala input bahan organik zarah yang halus dari bahagian hulu meningkat.

Disebabkan oleh kedalaman dan kekeruhan yang meningkat di **muara**, maka kadar fotosintesis semakin berkurangan. Terdapat peralihan daripada peringkat autotrop kepada heterotrop. Muara sangat bergantung pada input bahan organik zarah yang halus dari bahagian hulu. Di bahagian sungai

ini, komuniti **pengumpul** merupakan kumpulan makroinvertebrat yang penting.

Untuk berjaya hidup dalam persekitaran yang airnya bergerak satu arah, tumbuhan dan haiwan perlu mempunyai **penyesuaian**. Salah satu penyesuaian yang diperlihatkan oleh organisma sungai ialah **penyesuaian kelakuan**. Kelakuan mengelakkan arus laju merupakan penyesuaian yang paling ketara dan menjadi satu fenomena yang biasa ditemui. Sekiranya kita mengalihkan batu atau kayu yang terbenam di dalam air, beberapa fauna sungai boleh ditemui. Tabiat melekap dan bersembunyi di substrat begini memberikannya perlindungan daripada arus kuat. Hasil yang sama boleh didapati dengan membuat lubang di dasar atau melekat di tumbuhan akuatik. Selain daripada mendiami bahagian bawah substrat yang terendam dan lubang di dasar, bentos boleh didapati dengan banyak di kawasan arus yang perlahan seperti di lubuk.

Pengurangan saiz merupakan salah satu daripada **penyesuaian morfologi**. Badan yang kecil membenarkan haiwan menjalar dan bergerak hampir dengan substrat kerana halaju air di sini sangat berkurangan. **Protozoa**, **nematod** dan **rotifer** yang berbadan kecil boleh menduduki celah-celah batu. Badan **lintah** yang leper memberikan kelebihan kepada organisma ini untuk hidup di air deras. Penyesuaian morfologi bukan sahaja ditunjukkan oleh bentos sungai tetapi juga diperlihatkan oleh organisma lain. Alga yang ditemui di sungai pada umumnya terdiri daripada jenis yang melekap kuat pada substrat untuk mengelak daripada dibawa arus. Bagi nekton terutamanya ikan, **laju arus** merupakan sifat penyesuaian yang penting. Sifat ini membolehkan ikan bergerak dengan mudah dan pantas di air yang berarus. Pergerakan cepat ini sangat perlu untuk kemandirian sama ada untuk mencari makanan ataupun untuk mengelakkan diri daripada haiwan pemangsa.

BAB 3

Air Sebagai Bahan

Seperti yang dibincangkan dalam Bab 1, terdapat beberapa perbezaan antara persekitaran daratan dengan persekitaran akuatik. Perbezaan paling ketara adalah dari segi jenis medium antara kedua-dua ekosistem. Air merupakan medium utama di persekitaran akuatik, manakala udara membentuk medium utama di persekitaran daratan. Berikutan dengan perbezaan medium ini, maka kita dapat melihat perbezaan yang nyata dari beberapa aspek. Sebagai contoh, keamatan cahaya lebih tinggi di daratan. Begitu juga terdapat turun naik suhu yang luas di persekitaran ini jika dibandingkan dengan persekitaran akuatik. Perbezaan ini sudah tentu mempengaruhi komposisi biota di kedua-dua ekosistem.

Air sebagai medium mewujudkan persekitaran yang unik. Sebagai suatu sistem, terdapat hubungan rapat antara faktor biotik dengan faktor abiotik kerana setiap komponen saling bertindak dan mempengaruhi komponen yang lain. Persekitaran fizikal dan kimia yang terbentuk bukan sahaja mempengaruhi jenis dan komposisi fauna dan flora, malahan menentukan kelimpahan sesuatu organisma. Melalui proses biologi pula, biota yang mendiami persekitaran akuatik ini akan banyak mengubah sifat fizikal dan kimia yang utama. Sebagai contoh, kehadiran plankton yang banyak pada sesuatu ketika akan mempengaruhi kejernihan dan komposisi kimia air. Ternyata terdapat perhubungan yang rapat antara komponen biologi dengan faktor persekitaran kerana satu komponen mempengaruhi komponen yang lain.

Pemahaman tentang saling tindak antara organisma dengan persekitaran memerlukan pengkajian terhadap ciri fizikal dan kimia air secara mendalam. Walaupun air tulen tidak wujud dalam keadaan semula jadi, tetapi terdapat banyak persamaan dari segi beberapa aspek antara air tulen dengan air yang terdapat di kolam, tasik, paya ataupun sungai. Kita akan cuba melihat beberapa ciri penting air tulen dan membincangkan kepentingan setiap ciri ini dari segi ekologi.

AIR TULEN

Air merupakan bahan yang sungguh menakjubkan kerana memperlihatkan beberapa ciri yang unik lagi mengagumkan (Jadual 3.1). Setiap ciri-ciri ini mempunyai kepentingan biologi dan ekologi yang tersendiri.

Di muka bumi ini, air merupakan bahan yang paling kerap ditemui terutama dalam bentuk cecair. Walau bagaimanapun, terdapat juga kuantiti air yang besar yang wujud dalam .

bentuk gas di atmosfera dan dalam bentuk pepejal (ais dan salji). Selain daripada kewujudannya dalam tiga bentuk yang berbeza ini, air mempunyai beberapa ciri lain yang tidak kurang mengagumkan. Ciri **suhu**. **ketumpatan** yang unik membenarkan pembentukan persekitaran berstratum yang akhirnya mengawal ciri-ciri kimia dan biologi persekitaran akuatik. Lapisan yang terbentuk hasil daripada **tegangan permukaan** yang tinggi membolehkan sesetengah organisma menggunakannya sebagai permukaan untuk hidup.

Keupayaan air untuk melarut bahan-bahan lain membolehkan tumbuh-tumbuhan akuatik mendapat nutrien yang diperlukan untuk proses fisiologi daripada air di sekelilingnya. Tumbuh-tumbuhan akuatik seperti alga hijau tidak memerlukan struktur khusus untuk menyerap nutrien atau sistem pengangkutan yang kompleks seperti yang ditunjukkan oleh tumbuhan

daratan untuk mengangkut bahan-bahan ini ke tisu yang memerlukannya. Air dan mineral boleh memasukinya melalui sebarang bahagian jasad tumbuhan ini dengan cara **resapan** sahaja. Bahan-bahan ini akan meresap masuk melalui selaput sel yang terdedah kepada persekitaran luar. Bekalan oksigen yang diperlukan oleh haiwan dan organisma lain juga mampu dibekalkan disebabkan oleh keupayaan melarut ini.

Secara amnya, persekitaran air lebih stabil daripada persekitaran daratan. Kita tidak melihat turun naik suhu yang mendadak dan ini berkaitan dengan **muatan haba** air yang tinggi. Persekitaran yang stabil dan dalam julat optimum membolehkan organisma berkembang dan menambahkan bilangannya dengan baik.

MOLEKUL AIR

Semua ciri air yang unik seperti yang telah dibincangkan terhasil daripada bentuk unik molekul air. Molekul air mempunyai struktur yang mudah. Namun begitu, struktur ini dapat menghasilkan tindak balas yang kompleks. Air terdiri daripada satu atom **oksigen** dan dua atom **hidrogen**. Setiap atom hidrogen mempunyai satu proton di dalam nukleus dan satu elektron mengorbit nukleus. Nukleus atom oksigen pula terdiri daripada lapan proton. Mengorbit nukleus atom oksigen ialah lapan elektron yang bercas negatif. Dua elektron mengorbit petala yang berhampiran dengan nukleus, manakala enam elektron lagi di petala luar. Petala luar ini masih tidak lengkap dan memerlukan dua elektron lagi untuk menstabilkan aras tenaga. Elektron-elektron tambahan ini disumbangkan oleh hidrogen memandangkan atom hidrogen mempunyai ruang untuk satu lagi elektron (Rajah 3.1).

Disebabkan ini, dua atom hidrogen dan satu atom oksigen boleh bergabung dalam membentuk H_2O , formula kimia yang kita semua kenali. Disebabkan daya penolakan dua atom hidrogen antara satu dengan lain, maka kedua-

dua atom hidrogen terpisah pada sudut 105° . Konfigurasi ini menghasilkan molekul air yang **asimetri**.

Ikatan atom yang membentuk molekul air merupakan **ikatan kovalen** yang berasaskan perkongsian elektron. Walau bagaimanapun, disebabkan bilangan proton di dalam atom oksigen lebih besar daripada atom hidrogen, pasangan elektron yang dikongsi lebih hampir dengan atom oksigen. Ini bermakna perkongsian elektron adalah tidak sama. Atom oksigen mempunyai tarikan yang lebih terhadap elektron yang dikongsi. Oleh itu, oksigen lebih **elektronegatif** kerana seolah-olah mempunyai sedikit cas negatif. Disebabkan oleh kehilangan sebahagian daripada komplementernya, atom hidrogen pula bertindak seolah-olah membawa sedikit cas positif (Rajah 3.1). Disebabkan taburan cas yang tidak sama, molekul air dikenali sebagai **molekul dwikutub**. Molekul air bertindak sama seperti magnet, satu hujungnya bercas positif dan satu hujung lagi pula bercas negatif.

Sifat dwikutub ini penting kerana membenarkan molekul air membentuk ikatan dengan molekul air yang berdekatan. Ikatan ini dikenali sebagai **ikatan hidrogen**. Atom hidrogen yang mempunyai cas positif yang sedikit boleh ditarik secara lemah oleh satu lagi atom oksigen daripada molekul air lain yang mungkin wujud berdekatan memandangkan oksigen ini bercas sedikit negatif (Rajah 3.2). Dengan kata lain, hujung positif (hidrogen) satu molekul air akan tertarik kepada hujung negatif (oksigen) molekul air yang lain.

CIRI-CIRI FIZIKAL DAN KIMIA AIR

TINDAKAN MELARUT

Berbanding dengan sebarang cecair lain yang terbentuk semula jadi, air boleh melarut lebih banyak bahan. Bahan ini pula mampu dilarutkan dalam kuantiti yang besar. Disebabkan oleh keupayaan ini, air dikenali

sebagai **pelarut semesta**. Keupayaan ini membolehkan tindakan kimia berlaku sama ada di persekitaran akuatik itu sendiri atau lebih penting lagi di persekitaran dalaman, iaitu persekitaran dalam sel tempat sel-sel tumbuhan dan haiwan menjalankan fungsi fisiologi dan pembiakan.

Untuk menjelaskan bagaimana sesuatu bahan itu boleh larut dalam air, kita gunakan NaCl sebagai contoh. Garam biasa (NaCl) apabila dilarutkan dalam air akan terpisah kepada ion Na^+ dan ion Cl^- . Molekul air cenderung berkumpul di sekeliling setiap ion bercas positif, dengan hujung negatif mengarah kepada ion tersebut (Rajah 3.3). Dengan cara yang sama, molekul air cuba berkumpul mengelilingi setiap ion bercas negatif dengan hujung positif air mengarah kepada ion tersebut. Keadaan ini dikenali sebagai **sfera terhidrat** dan bertanggungjawab melindungi dan seterusnya menghalang ion-ion daripada bersaling tindak antara satu dengan lain. Keadaan ini juga memaksa ion-ion kekal berselerak di dalam air dan tidak bergabung antara satu dengan lain. Apabila sfera terhidrat ini terbentuk di sekeliling bahan bercas, bahan itu dianggap telah larut di dalam air. Jadi, air bertindak sebagai **pelarut** (cecair yang boleh melarutkan satu atau lebih bahan), manakala bahan yang larut dikenali sebagai **bahan larut**. Kebanyakan molekul yang mempunyai **ikatan ion** berkemampuan untuk larut di dalam air.

Kebanyakan bahan yang larut di dalam air tidak mengalami perubahan kerana air bersifat agak **lengai** dan tidak mengubah bahan larutan secara kimia. Sifat ini mempunyai implikasi yang besar terhadap proses fisiologi organisma hidup. Ini bermakna molekul yang diperlukan untuk kehidupan boleh diangkut di dalam darah atau sap dan molekul ini seterusnya boleh disimpan di dalam bentuk larutan, tanpa berubah kepada bahan yang tidak perlu atau toksik.

CIRI TERMA

Takat suhu beku air adalah pada 0°C dan **takat suhu didih** air adalah pada 100°C . Jika dibandingkan dengan sebatian yang serupa dengan susunan air (contohnya H_2S , H_2Se dan H_2Te), nilai takat suhu didih dan beku air begitu tinggi. Sebatian lain wujud secara semula jadi hanya sebagai gas, manakala air boleh wujud dalam tiga bentuk (gas, cecair dan pepejal) dalam julat keadaan atmosfera yang sempit.

Untuk menjelaskan keganjilan ini, kita perlu melihat dengan lebih dekat **daya antara molekul** yang perlu diatasi semasa perubahan daripada satu bentuk kepada bentuk yang lain. Bagi sebarang sebatian, wujud satu **tarikan elektrostatik** yang lemah antara molekul. Bahagian nukleus satu molekul akan menarik elektron molekul yang lain. Terdapat juga daya tolakan antara molekul, tetapi daya ini agak lemah dan kurang penting jika dibandingkan dengan daya tarikan. Daya tarikan antara molekul, yang dikenali sebagai **daya Van der Waals**, menunjukkan kesan yang ketara hanya apabila kedudukan molekul sangat berdekatan antara satu dengan lain seperti keadaan yang wujud dalam pepejal dan cecair.

Secara amnya, lebih berat molekul tersebut, maka semakin besar tarikan Van der Waals antara setiap molekul sebatian tersebut. Maka, dengan bertambahnya berat molekul, lebih banyak tenaga diperlukan untuk mengatasi tarikan ini sebelum pertukaran bentuk boleh berlaku. Takat suhu didih dan takat suhu beku sebatian secara amnya meningkat dengan meningkatnya berat molekul.

Sebatian H_2S , H_2Se dan H_2Te mempunyai komposisi molekul yang sama dengan air kerana sebatian-sebatian ini mengandungi dua atom hidrogen dan satu atom unsur yang lain. Berat molekul untuk H_2S ialah 34, manakala berat molekul H_2Se dan H_2Te masing-masing ialah 80 dan 129. Seperti yang

diramalkan oleh daya Van der Waals takat beku dan takat didih meningkat dengan meningkatnya berat molekul (Rajah 3.4). Walau bagaimanapun, satu keganjilan dapat dilihat bagi molekul air. Air yang mempunyai berat molekul 18 diramalkan mempunyai takat beku pada -90°C dan takat didih pada -68°C . Namun begitu, kita dapati bahawa air membeku pada 0°C dan mendidih pada 100°C .

Penyimpangan takat beku dan takat didih air ini daripada suhu yang dijangka boleh dijelaskan oleh ciri kutub molekul air dan ikatan hidrogen yang terbentuk. Seperti yang telah dibincangkan, selain daripada ikatan Van der Waals terdapat satu lagi ikatan tambahan, iaitu ikatan hidrogen antara molekul air. Untuk memecahkan ikatan ini, tenaga tambahan diperlukan dan ini menyebabkan takat didih dan beku air melebihi daripada takat-takat yang diramalkan.

HABA TENTU

Air mempunyai **haba tentu** yang tinggi. Berdasarkan sifat ini, hanya ammonia, hidrogen cecair dan litium mempunyai keupayaan yang mengatasi keupayaan molekul air. Haba tentu yang tinggi yang dimiliki oleh molekul air boleh dikaitkan dengan ikatan hidrogen yang terbentuk antara molekul. Haba tentu boleh ditakrifkan sebagai jumlah haba yang diperlukan untuk meningkatkan satu gram air kepada satu darjah Celsius. Bagi molekul air, haba tentu mengambil nilai 1. Haba tentu bagi sebatian lain diukur sebagai nisbah muatan haba sebatian itu dan muatan haba air.

Suhu merupakan ukuran untuk kadar pergerakan molekul. Setiap bahan menunjukkan perbezaan dari segi pengambilan tenaga untuk mencapai tahap pergerakan molekul yang setara. Bagi air bentuk cecair, ikatan hidrogen antara individu molekul mesti dipecahkan terlebih dahulu dan dihalang daripada dibentuk semula. Selepas proses pemecahan ini barulah

molekul boleh bergerak dengan lebih bebas dan seterusnya memperlihatkan peningkatan suhu. Ini dapat menjelaskan mengapa air boleh menyerap haba yang agak banyak tanpa pertambahan suhu yang ketara.

Disebabkan begitu banyak haba perlu diserap sebelum suhu air dapat ditingkatkan sebanyak satu Celcius, proses pemanasan jasad air berlaku dengan perlahan. Proses ini bertanggungjawab menjadikan habitat akuatik lebih stabil dari segi turun naik suhu. Haba tentu air yang tinggi ini juga bermakna bahawa organisma akuatik terdedah kepada julat suhu yang lebih sempit daripada organisma-organisma di ekosistem daratan. Suhu kawasan daratan mungkin mencapai 38°C atau lebih, tetapi suhu air jarang-jarang melebihi 27°C .

Disebabkan oleh **hukum keabadian tenaga**, jumlah tenaga di dalam sistem akuatik kekal malar. Jumlah haba yang dibebaskan semasa proses pembekuan adalah sama dengan jumlah yang diserap semasa proses pencairan. Keadaan yang sama juga berlaku semasa proses pengewapan dan pemeluwapan kerana jumlah haba yang diserap dan dibebaskan adalah sama. Kualiti yang ditunjukkan ini akan menjadikan satu jasad air yang besar boleh mengubah iklim kawasan-kawasan daratan yang berhampiran.

HABA PENDAM LEBUR DAN PENGEWAPAN

Satu ciri yang berkaitan rapat dengan muatan haba ialah **haba pendam lebur** dan **haba pendam pengewapan**. Penambahan haba secara berterusan kepada sesuatu bahan sama ada dalam bentuk pepejal atau cecair akan menyebabkan berlakunya perubahan bentuk tersebut. **Takat lebur** (atau takat beku) ialah takat suhu yang berlaku perubahan bentuk pepejal kepada bentuk cecair. Takat suhu apabila cecair berubah kepada bentuk gas disebut **takat didih** (atau takat pengewap cecair).

Walaupun haba diberi berterusan dan bahan mengalami perubahan bentuk, namun pertambahan suhu pada takat perubahan mungkin tidak dapat dikesan. Tenaga haba yang diterima digunakan untuk memecahkan semua ikatan yang diperlukan untuk melengkapi perubahan bentuk. Apabila perubahan bentuk telah selesai sepenuhnya, barulah suhu meningkat semula. Haba yang diberi kepada 1 g bahan pada takat lebur untuk memecahkan ikatan yang diperlukan untuk melengkapkan perubahan bentuk disebut **haba pendam lebur**. Haba yang diberi untuk tujuan yang sama pada takat didih disebut **haba pendam pengewapan**. **Pendam** di sini bermaksud tidak ada perubahan suhu dapat dikesan pada peringkat ini.

Untuk menjelaskan fenomena ini, kita lihat pada pemindahan haba dan perubahan air bentuk pepejal pada suhu $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Rajah 3.5). Katakan kita bermula dengan ais yang mempunyai berat 1 g. Kita mula memberi haba sedikit demi sedikit. Pada peringkat ini, kita dapati peningkatan haba dan diikuti dengan peningkatan suhu. Selepas menambah 20 cal haba, suhu ais telah meningkat daripada $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ kepada $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Haba yang diberi sejumlah 20 cal, manakala suhu meningkat $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jadi, muatan haba untuk ais ialah 0.5 cal/g ,

Sekiranya haba terus ditambah, kita perhatikan bahawa tidak ada pertambahan suhu sehinggalah kita telah menambah sejumlah 100 cal. Kenapa tidak ada pertambahan suhu dengan penambahan 80 cal haba ini? Pada peringkat ini, semua tenaga haba yang ditambah digunakan untuk memecah ikatan yang mengikat molekul air dalam bentuk pepejal. Suhu tidak menunjukkan sebarang perubahan sehingga semua ikatan yang perlu telah dipecahkan dan campuran ais dan air telah bertukar kepada 1 g air. Jumlah haba yang diperlukan untuk menukar 1 g ais kepada 1 g air, iaitu 80 cal merupakan haba pendam lebur dan nilai ini merupakan satu nilai yang tinggi untuk air jika dibandingkan dengan bahan lain.

Ikatan yang dipecahkan untuk menukar kebanyakan bahan daripada pepejal kepada cecair ialah **ikatan Van der Waals**. Bagi air, selain daripada ikatan Van der Waals, **ikatan hidrogen** juga perlu dipecahkan. Walau bagaimanapun, tidak semua ikatan hidrogen harus dipecahkan. Yang diperlukan hanyalah memecahkan struktur ais kepada beberapa kelompok kecil yang dikelilingi oleh setiap molekul air. Hal yang sedemikian akan membolehkan kelompok ais yang tertinggal bergerak secara relatif antara satu dengan lain. Air dalam bentuk cecair, terutamanya pada suhu hampir dengan takat beku, boleh digambarkan sebagai **pseudohablur** memandangkan masih wujud banyak kelompok hablur ais yang kecil terperangkap di dalamnya.

Sekiranya penambahan suhu diteruskan melebihi 100 cal, kita dapati suhu meningkat semula. Pada peringkat ini, .1 cal haba diperlukan untuk meningkatkan suhu air sebanyak 1 °C. Jadi, kita perlu menambah sejumlah 200 cal sebelum satu gram air mencapai takat didih 100°C. Pada suhu ini, kita perhatikan pembentukan satu lagi plato yang mewakili haba pendam pengewapan. **Haba pendam pengewapan** bermaksud jumlah tenaga haba yang perlu diserap sebelum satu gram cecair boleh ditukar kepada bentuk gas. Pertambahan 540 cal diperlukan untuk melengkapkan perubahan satu gram air kepada bentuk wap. Sebagai perbandingan, haba pendam pengewapan air adalah dua kali ganda daripada **etanol** dan lebih kurang lima kali ganda daripada **kloroform**.

Mengapa lebih banyak tenaga haba diperlukan untuk menukar 1 g air kepada wap air berbanding dengan tenaga yang diperlukan untuk menukar 1 g ais kepada cecair? Seperti yang telah disebutkan, tidak semua ikatan hidrogen perlu dipecahkan semasa perubahan ais kepada cecair. Untuk menukarkan cecair air kepada air gas, setiap molekul mesti dibebaskan daripada tarikan antara molekul. Jadi, setiap ikatan hidrogen mesti

dipecahkan. Untuk melakukan ini, jumlah tenaga haba yang lebih besar diperlukan.

Perubahan cecair kepada gas di bawah takat didih dikenali sebagai **sejatan**. Pada suhu permukaan, setiap molekul yang telah berubah daripada cecair kepada bentuk gas mempunyai tenaga yang kurang daripada molekul air pada 100°C. Untuk mendapatkan tenaga tambahan yang diperlukan untuk bebas daripada molekul air yang berdekatan, setiap molekul tersebut perlu mendapat tenaga daripada molekul jirannya. Fenomenon ini boleh menerangkan kesan penyejukan semasa proses sejatan berlaku. Molekul yang ditinggalkan telah kehilangan tenaga haba kepada molekul yang bebas sebagai wap. Untuk menghasilkan 1 g air berbentuk wap pada 20 °C, 585 cal/g haba diperlukan. Tenaga haba yang tinggi ini diperlukan kerana lebih banyak ikatan hidrogen perlu dipecahkan pada suhu yang lebih rendah.

TEGANGAN PERMUKAAN

Selain daripada raksa, air mempunyai **tegangan permukaan** yang paling tinggi di kalangan cecair yang wujud. Kita boleh perhatikan fenomena tegangan permukaan apabila kita mengisi satu gelas dengan air hingga ke bingkai. Air boleh melebihi bingkai gelas tersebut tanpa melimpah dengan membentuk permukaan **cembung**. Bentuk sfera titisan air di atas kaca juga menunjukkan tegangan air. Fenomenon ini menggambarkan kecenderungan molekul untuk menarik satu dengan lain atau melekat pada permukaan. Disebabkan **daya lekatan** ml, objek yang lebih berat daripada air boleh terapung di permukaan. Banyak serangga berkebolehan untuk menggunakan permukaan air untuk sokongan, seolah-olah permukaan air adalah padu. Tegangan permukaan boleh wujud disebabkan oleh **ikatan hidrogen**. Molekul air di permukaan ditarik kuat oleh molekul air di lapisan bawah (Rajah 3.6).

Tegangan permukaan air dipengaruhi oleh suhu. Dengan meningkatnya suhu air, tegangan permukaan semakin berkurangan (Jadual 3.2). Pengurangan suhu pula akan meningkatkan tegangan permukaan.

Satu fenomena menarik yang ditunjukkan oleh air ialah pembasahan. Air mampu berpaut atau melekat di permukaan seperti kaca, bahan organik atau tak organik. Apabila air dicurahkan ke dalam bekas yang dibuat daripada bahan-bahan ini, daya tarikan antara molekul air dengan molekul bahan yang lain (**daya lekitan**) akan menyebabkan lapisan tegangan permukaan mengambil bentuk **cengkung**. Sekiranya bekas itu terdiri daripada kaca, bahagian molekul air yang bercas positif akan ditarik oleh atom oksigen kaca tersebut. Disebabkan tarikan atom-atom oksigen ini yang kuat, molekul air mampu memanjat naik bahagian tepi bekas. Namun begitu, molekul air ini ditahan daripada terus memanjat oleh tarikan ikatan hidrogen antara individu molekul air di lapisan bawah. Sebenarnya, sekiranya diameter bekas dikurangkan menjadi sangat kecil, **daya lekitan** antara molekul air dengan bekas kaca akan menarik terus air ke satu ketinggian tertentu. Fenomenon ini dikenali sebagai tindakan kapilari.

KELIKATAN

Kelikatan bermaksud sebarang rintangan dalaman terhadap pengaliran dan merupakan ciri yang dipunyai oleh semua cecair. Jika dibandingkan dengan kebanyakan cecair, air menunjukkan rintangan yang tinggi terhadap pengaliran. Rintangan ini disebabkan oleh jumlah tenaga yang besar yang terkandung dalam ikatan hidrogen molekul air. Kelikatan yang tinggi ini mempunyai kesan positif dan juga kesan negatif kepada biota dengan mempengaruhi kelakuan, morfologi dan penggunaan tenaga oleh organisma akuatik. Bagi organisma yang besar dan berenang bebas, kelikatan ini memberi satu bentuk halangan kepada pergerakan. Kebanyakan ikan perlu bergerak pantas untuk mencari makanan dan juga untuk mengelakkan

perilangsaan. Disebabkan kelikatan air, keupayaan ikan untuk bergerak ke hadapan dan pantas dibatasi. Setiap pergerakan ke hadapan bermakna ikan terpaksa berhadapan dengan kepayahan yang terbentuk hasil daripada pergeseran nekton ini dengan air. Salah satu cara untuk mengatasinya adalah dengan menghasilkan pergerakan lalu arus. Bentuk fusiform ikan menggambarkan penyesuaian untuk mencapai maksud lalu arus yang membolehkan organisma bergerak dengan pantas.

Bagi organisma yang terampai, kelikatan yang tinggi memberi kebaikan kerana ciri ini menyebabkan plankton mudah mengekalkan kedudukan di permukaan air yang bercahaya. Kelikatan air mengurangkan kecenderungan organisma tersebut daripada tenggelam dengan meningkatkan rintangan geseran antara organisma-organisma ini dengan molekul air. Namun begitu, ciri air ini menunjukkan hubungan songsang dengan suhu air kerana pada suhu air yang rendah, kelikatan air adalah tinggi; pada suhu tinggi pula, kelikatan air adalah rendah (Jadual 3.3).

Disebabkan kelikatan menurun dengan peningkatan suhu, kita dapati bahawa organisma yang hidup terampai di kawasan panas menunjukkan penyesuaian yang bersesuaian dengan ciri air ini. Zooplankton dan fitoplankton di kawasan tropika mempunyai apendaj dan unjuran (seta) yang pelbagai bentuk jika dibandingkan dengan organisma ini di kawasan temperat. Struktur ini dapat membantu organisma tersebut terampai di air tropika yang kurang daya kelikatan dengan meningkatkan luas permukaan. Sebagai perbandingan, plankton di kawasan temperat pula tidak memerlukan penyesuaian. Pada amnya, plankton di temperat mempunyai morfologi yang mudah dan ringkas tanpa unjuran yang berlebihan.

KUALITI KETUMPATAN

Ketumpatan ditakrifkan sebagai berat per unit isipadu dan selalunya diungkapkan sebagai gram sentimeter padu (g/cm^3).

Kebanyakan cecair mengecut dan menjadi lebih berat semasa disejukkan kerana jumlah molekul yang sama menduduki ruang yang lebih kecil. Bentuk pepejal bahan ini menjadi lebih berat daripada bentuk cecair. Air bertindak agak berbeza. Semasa suhu air berkurangan, ketumpatan air meningkat. Ini berlaku hanya apabila suhu turun sehingga mencapai 3.98°C , iaitu suhu apabila ketumpatan adalah pada peringkat maksimum. Semasa suhu air dikurangkan daripada 3.98°C kepada 0°C , ketumpatan mulai menurun (Rajah 3.7).

Kualiti ketumpatan air ini boleh diterangkan oleh struktur molekul air dan ikatan hidrogen. Semasa suhu diturunkan daripada 20°C , molekul air yang tidak terikat menduduki isipadu yang lebih kecil, iaitu ciri yang sama yang ditunjukkan oleh cecair lain. Walau bagaimanapun, semasa suhu menghampiri takat beku di bawah 3.98°C , pengurangan isipadu diganggu oleh satu lagi fenomena lain. **Hablur** ais yang mempunyai struktur segi enam *yang terbuka wujud dengan* banyak. Kadar pertambahan hablur ais yang tinggi semasa suhu menghampiri takat beku menerangkan pengurangan ketumpatan air di bawah 3.98°C .

Ais yang terbentuk adalah 8% lebih ringan daripada air dalam bentuk cecair. Walaupun perkara ini aneh, tetapi merupakan rahmat bagi organisma hidup. Tanpa hubungan suhu ketumpatan yang unik ini, ais akan tenggelam apabila terbentuk dan keseluruhan jasad air akan membeku dari permukaan hingga ke dasar. Jika keadaan ini berlaku, habitat akuatik tidak dapat menampung sebarang kehidupan pada musim sejuk. Tetapi disebabkan ais lebih ringan

daripada air cecair, maka ais hanya wujud dan terapung di permukaan tasik dan organisma lain dapat meneruskan kehidupan di bawah lapisan ais ini.

Selain daripada suhu, ketumpatan air juga dipengaruhi oleh garam terlarut. Kewujudan garam terlarut meningkatkan ketumpatan air. Ketumpatan air tulen ialah 1.000 dan air laut biasa (35 ppm) ialah 1.02822.

BAB 4

Asal Usul dan Sedimen Persekitaran Akuatik

Dari sudut pandangan geologi, persekitaran akuatik bersifat sementara kerana mempunyai hayat yang tertentu. Jasad air ini berkembang melalui berbagai-bagai tahap dari permulaan pembentukannya hinggalah habitat ini luput daripada muka bumi ini. Tasik, sungai dan kolam boleh terbentuk sama ada secara mendadak atau memperlihatkan perkembangan secara beransur-ansur melalui peristiwa geologi. Jasad air ini pula boleh secara tiba-tiba atau secara beransur-ansur hilang dan luput daripada permukaan bumi. Oleh itu, asal usul pembentukan jasad air ini boleh disusur-galurkan dan waktu kehilangan jasad air ini boleh diramalkan.

ASAL USUL LEMBANGAN TASIK

Terdapat berbagai-bagai bentuk dan saiz tasik di muka bumi ini. Ada tasik yang mempunyai keluasan beribu-ribu kilometer persegi dan mempunyai kedalaman beratus-ratus meter, dan ada juga tasik yang mempunyai keluasan hanya beberapa kilometer persegi sahaja dan kedalaman kurang daripada 10 meter. Dari segi usia pula, ada tasik baru wujud sepuluh atau dua puluh tahun sahaja. Namun begitu, terdapat juga banyak tasik di

permukaan bumi ini yang sudah berusia beratus-ratus tahun dan masih kekal hingga sekarang.

Begitu banyak tasik yang bertaburan di seluruh pelosok dunia dan tasik ini terbentuk dengan berbagai-bagai cara. Pembentukannya berkaitan dengan peristiwa yang mewujudkan lembangan atau lekukan di permukaan kerak bumi. Peristiwa yang berlaku sepanjang zaman ini terjadi sama ada secara semula jadi atau akibat daripada aktiviti manusia. Lembangan yang terhasil daripada peristiwa geologi dan buatan ini kemudiannya dipenuhi air dan membentuk persekitaran tasik yang kita kenali.

Secara semula jadi, lembangan tasik boleh terbentuk oleh aktiviti tektonik, aktiviti gunung berapi, aktiviti gempa bumi, tindakan glasier, aktiviti pinggir pantai, proses pelarutan batu kapur, tindakan angin, tindakan sungai ataupun akibat daripada kejatuhan tahi bintang ke muka bumi. Pembinaan empangan oleh manusia sama ada untuk tenaga elektrik, bekalan air atau pertanian, turut bertanggungjawab mewujudkan lembangan tasik. Di Malaysia, terdapat banyak kawasan perlombongan yang ditinggalkan dan kemudiannya dipenuhi air untuk membentuk jasad air.

Pada amnya, bentuk-bentuk lembangan yang terhasil akan menentukan produktiviti jasad air tersebut. Lembangan yang berbentuk U atau V yang dicirikan oleh kawasan tebing tinggi dan curam pada amnya tidak produktif. Tasik yang kawasan litoralnya luas serta tebal dengan sedimen sangat produktif dan dapat menyokong biojisim organisma yang tinggi.

LEMBANGAN TEKTONIK

Lembangan yang terbentuk melalui proses pelipatan, sesaran atau pergerakan batu dasar bumi dikenali sebagai **lembangan tektonik**. Mengikut **teori plat tektonik**, muka bumi ini terbahagi kepada beberapa plat keras yang terapung di atas magma yang cair. Disebabkan oleh pergerakan

magma, plat boleh berelaga antara satu dengan lain ataupun plat-plat itu boleh berenggang dan menjauhi antara satu dengan lain. Pergerakan perlahan ini yang lebih dikenali sebagai **hanyutan benua**, mampu membentuk beberapa ketaksekataan di muka bumi.

Beberapa tasik di dunia terbentuk hasil daripada pengumpulan air di kawasan yang tidak sekata ini. Sebagai contoh, kewujudan **Tasik Tahoe** di California, **Tasik Baikal** di Siberia dan **Tasik Tanganyika** di Afrika disebabkan oleh pengumpulan air di dalam **graben** atau lurah yang terbentuk kerana peralihan kerak bumi di sepanjang garisan retakan (Rajah 4.1).

TINDAKAN GUNUNG BERAPI

Di negara yang mempunyai gunung berapi, kebanyakan tasik terbentuk hasil daripada tindakan magma yang keluar dari gunung ini. Apabila gunung berapi meletup, puncak gunung kadang-kadang boleh musnah sama sekali dan hanya meninggalkan satu lekukan besar dan dalam yang apabila dipenuhi oleh air hujan akan membentuk sebuah **tasik kawah** (Rajah 4.2).

Disebabkan oleh sifat lembangan dan kawasan saliran yang terdiri daripada batuan basalt, kebanyakan tasik kawah yang terbentuk oleh aktiviti gunung berapi ini tidak produktif. Pada kebiasaannya, air tasik ini begitu jernih sekali dan kejernihan ini mencerminkan kandungan nutrien yang rendah dan kekurangan hidupan akuatik. **Tasik Crater** di Oregon, Amerika Syarikat dan **Tasik Mahega** di Uganda ialah dua contoh tasik yang terbentuk dengan cara ini.

Lava yang dihasilkan oleh gunung berapi yang meletup juga berupaya membentuk lembangan tasik. Sekiranya lava yang mengalir merentangi sungai yang sedia ada di bahagian bawah gunung dan seterusnya menyekat pergerakan air, maka takungan air mungkin terbentuk (Rajah 4.2). Lava tersebut bertindak sebagai satu empangan yang menghalang pergerakan

air. Banyak tasik di kawasan gunung berapi terbentuk dengan cara penyekatan pengaliran air oleh lava ini.

TINDAKAN GLASIER

Aktiviti glasier merupakan daya pembentuk tasik yang utama di banyak tempat seperti di Amerika Utara, Eropah Utara dan Asia. Terdapat dua jenis glasier: **glasier benua** (atau **glasier kepingan ais**) dan **glasier alpin** (atau **glasier lurah**). Glasier alpin dijumpai di kawasan pergunungan yang tinggi di latitud rendah. Semasa pergerakannya dari kawasan tinggi ke kawasan lebih rendah, glasier menghakis batuan dasar dan membentuk tasik sirk (Rajah 4.3).

Pada masa silam, sebahagian besar muka bumi dipenuhi oleh glasier benua. Glasier yang bergerak ke hadapan dan belakang akan mengorek kawasan yang dilalui dan meninggalkan Lembangan untuk diisi air. Lembangan yang terbentuk ini dikenali sebagai **Lembangan batuan glasier**. Di kawasan yang pernah diliputi glasier benua juga terdapat banyak **tasik cerek** (Rajah 4.3). Lembangan tasik ini terbentuk apabila ketulan ais besar yang ditinggalkan oleh glasier menjadi cair. Kehadiran ketulan ais yang berat ini akan meninggalkan lekukan besar di muka bumi yang mampu membentuk tasik.

Selain daripada pembentukan tasik cerek dan tasik batuan glasier, aktiviti geologi ini juga boleh membentuk empangan yang menyekat pengaliran air dengan meninggalkan batu-batu dan puing berbatu (**morain**) merentangi sungai. Empangan yang wujud akan menghalang pergerakan air dan akhirnya membentuk tasik, sama seperti apabila lava menyekat pergerakan sungai.

TINDAKAN SUNGAI

Lembangan tasik boleh juga terbentuk disebabkan oleh pergerakan sungai. Air mengalir mempunyai keupayaan menghakis yang tinggi dan

membolehkan lembangan tasik terbentuk di sepanjang alirannya. Di hulu sungai, air yang menuruni kecerunan yang tinggi seperti yang ditunjukkan oleh **air terjun**, mempunyai daya pengorekan yang kuat dan mampu membentuk satu lekukan di kaki air terjun. Walaupun sungai asal kemudiannya mungkin kering dan pupus, namun lembangan yang ditinggalkan boleh menakung air hujan untuk membentuk tasik.

Sungai yang berliku selalunya menunjukkan kecenderungan untuk meluruskan alirannya. Dalam usaha ini, air yang mengalir akan menghakis satu bahagian sungai yang membelok dan memendakkan sedimen di bahagian yang bertentangan. Lama-kelamaan, bahagian sungai yang berliku akan terpisah dan membentuk tasik. Maka, wujudlah tasik yang cetek dan berbentuk bulan sabit yang dikenali sebagai **tasik ladam** (Rajah 4.4).

PELARUTAN BATU KAPUR

Lekukan tasik boleh juga terbentuk hasil daripada pelarutan batuan di dasar oleh air secara beransur-ansur. Walaupun banyak pembentukan batuan bersifat mudah larut (contohnya natrium klorida, kalsium sulfat dan ferum hidroksida), kebanyakan tasik larutan terbentuk daripada pelarutan batu kapur (kalsium karbonat) oleh air yang berasid. Tasik yang terbentuk daripada pelarutan batu kapur mengambil bentuk corong dan tasik jenis ini dikenali sebagai **tasik sinka** atau **tasik dolin**.

AKTIVITI PINGGIR PANTAI

Di pesisir pantai, terdapat beberapa jenis tasik yang terbentuk hasil daripada tindakan arus dan ombak. Tasik di pinggir benua ini biasanya wujud hasil daripada aktiviti **arus dekat pantai** yang berupaya mengalih dan menggerakkan sedimen. Sekiranya sedimen dapat dialihkan dan kemudiannya dienapkan dengan banyak merentasi suatu muara, halangan ini mungkin menghasilkan lembangan tasik. Muara juga boleh disekat

pergerakan airnya oleh benteng pasir yang dibentuk oleh ombak. Di pesisir pantai, kita boleh juga menjumpai tasik yang terbentuk oleh tanjung pasir yang merentangi kawasan teluk atau lagun. Tanjung pasir ini terbentuk hasil daripada aktiviti **arus tepi laut** (Rajah 4.5).

ASAL ORGANIK

Dua jenis mamalia, iaitu memerang dan manusia merupakan dua makhluk yang sangat berkesan membentuk tasik melalui aktiviti hariannya. Dalam usahanya membuat sarang, memerang mengumpulkan dahan-dahan dan ranting-ranting kayu di dalam sungai. Sarang yang terhasil kadang-kadang begitu besar dan mampu menyekat suatu sungai yang kecil untuk membentuk empangan.

Manusia sememangnya sudah begitu terkenal dengan kebolehannya menggunakan dan mengubah persekitaran untuk memenuhi keperluannya. Begitu banyak empangan dibina untuk membekalkan tenaga elektrik dan sumber air untuk kawasan perbandaran, industri dan perairan. Empangan juga telah dibina untuk tujuan mengawal banjir, kegiatan perikanan dan kegiatan pelayaran. Tasik yang terbentuk melalui pengempangan sungai pada amnya sangat luas dan dalam proses pembinaan empangan ini beribu-ribu hektar tanah hutan ditenggelami air. Antara empangan yang terkenal di Malaysia termasuklah **Empangan Kenyir, Empangan Chenderoh dan Empangan Muda**. Empangan Kenyir yang merentas Sungai Terengganu mempunyai keluasan 36 000 hektar dan kedalaman maksimum 155 meter. Empangan ini dapat menampung 13600 juta meter padu air.

Aktiviti perlombongan juga bertanggungjawab membentuk tasik. Di Perak dan Selangor, terdapat banyak tasik yang terbentuk daripada lombong bijih timah yang ditinggalkan.

TINDAKAN LAIN

Ada beberapa cara lain bagaimana lembangan tasik terbentuk. Semasa **gempa bumi**, kerak bumi mengalami keadaan yang tidak sekata. Ada bahagian bumi akan timbul dan ada yang tenggelam. Apabila dipenuhi oleh air hujan, kawasan yang tenggelam atau lekukan ini akan menghasilkan tasik. Selain daripada gempa bumi, tahi bintang juga bertanggungjawab membentuk lekukan di muka bumi. Walau bagaimanapun, pembentukan tasik dengan cara ini jarang-jarang berlaku kerana tahi bintang yang jatuh dari angkasa lepas biasanya bersaiz kecil dan tidak berkesan dalam membentuk lembangan yang luas dan kekal.

Ada juga tasik yang terbentuk hasil daripada aktiviti tanah runtuh yang berlaku semasa musim hujan atau gempa bumi (Rajah 4.6). Tindakannya sama seperti yang ditunjukkan oleh lava, iaitu dengan menyekat pergerakan sungai yang sedia ada dan bertindak sebagai empangan. Di kawasan **gersang** pula, sungai disekat pergerakannya oleh timbunan bahan- bahan halus dan ringan (tanah liat dan pasir) yang dibawa oleh angin dari kawasan lain.

SEDIMEN DAN DASAR TASIK

Seperti yang baru dijelaskan, setiap tasik menunjukkan sifat **efemeral** atau sementara kerana mempunyai jangka hayat yang tertentu. Sebaik sahaja tasik terbentuk, berbagai- berbagai daya semula jadi akan bertindak untuk mengisi dan memenuhi habitat ini dengan berbagai-bagai jenis dan bentuk bahan-bahan terampai. Bahan-bahan ini secara kumpulan dirujuk sebagai sedimen dan berpunca daripada sungai, hujan, hakisan tebing, sumber pencemaran dan aktiviti biologi. Sedimen merupakan salah satu faktor utama yang menentukan hayat tasik. Disebabkan lembangan berbentuk cekung, sedimen akan cuba mengisi lekukan ini dan seterusnya mengurangkan kemampuan tasik ini untuk melaksanakan tugasnya. Setiap

tasik akan melalui satu bentuk **sesaran**, iaitu tasik secara beransur-ansur bertukar menjadi ekosistem paya terlebih dahulu sebelum membentuk ekosistem daratan. Cepat atau lambat proses perubahan daripada ekosistem akuatik kepada ekosistem daratan ini bergantung pada kadar kemasukan sedimen. Sebenarnya, setiap tasik yang terbentuk di muka bumi ini ditakdirkan untuk membentuk daratan akhirnya.

Sepanjang hayat tasik dari mula pembentukannya hinggalah mengalami kemusnahan, komposisi dasar tasik sentiasa mengalami perubahan. Tasik yang baru terbentuk (tasik muda) selalunya mempunyai dasar yang berbatu-batu ataupun jenis dasar yang berpasir kasar. Keadaan ini disebabkan oleh proses penyumbang utama sedimen; **proses hakisan batuan** masih pada peringkat permulaan dan belum berkembang dengan baik. Hari demi hari, sedimen semakin menebal melalui tindakan hakisan ini dan menumpuklah sedimen di dasar .

Selain daripada usia tasik, **keluasan dan kedalaman** tasik turut juga mempengaruhi kadar hakisan dan seterusnya ketebalan sedimen di dasar. Di tasik yang luas, tindakan ombak lebih kuat dan ini akan meningkatkan kadar hakisan. Kadar hakisan ini seterusnya akan ditingkatkan lagi dengan adanya **arus subpermukaan** di tasik yang dalam.

Suhu bermusim dan panjang hari mempunyai hubungan rapat dengan latitud. Akibat daripada musim panas yang berpanjangan, tasik di latitud rendah selalunya lebih kaya dengan sedimen. Keamatan dan variasi bermusim hujan tahunan yang besar di kawasan ini juga turut mengubah tabii dasar tasik melalui pengaruh faktor ini terhadap turun naik aras air.

Jenis batu di dasar juga mempengaruhi ketebalan sedimen. Tasik yang terletak di kawasan berpasir atau pembentukan geologi yang mudah diurai mungkin mempunyai mendapan sedimen yang tebal di dasar. Lembangan

yang menduduki kawasan batuan yang rintang pula mempunyai sedimen yang sedikit memandangkan proses hakisan yang berkurangan.

Secara amnya, sedimen tasik terdiri daripada empat komponen primer: (1) bahan organik dalam beberapa peringkat penguraian; (2) bahan mineral zarah yang terdiri daripada serpihan batu yang berlainan saiz seperti tanah liat, lodak, pasir, kelikir dan batu tongkol; (3) mendakan kimia seperti napa, tufa ferik hidroksida, ferik karbonat dan silikon dioksida; dan (4) komponen tak organik yang berasal daripada benda hidup, contohnya frustul diatom.

Pada amnya, zarah yang lebih besar dijumpai di zon cetek, manakala tanah liat dan lodak boleh ditemui di mana-mana bahagian tasik. Warna tanah liat dan lodak berbeza-beza daripada putih, biru, hijau, hitam dan merah. Pasir pula mungkin berwarna putih, kelabu atau hitam. Warna sedimen ditentukan terutamanya oleh tabii mineralogi lembangan tasik.

NAPAL

Kebanyakan tasik kecil mempunyai sedimen yang terdiri daripada **napal**. Napal merupakan timbunan **kalsium karbonat** yang dimendakkan oleh bakteria dan alga di air alkalin semasa proses fotosintesis. Alga daripada genus *Chara* ialah penyumbang utama kepada pembentukan napal. Walaupun putih atau kelabu ialah warna tipikal napal, namun napal yang berwarna biru atau hitam juga kerap kali ditemui.

KOPROPEL

Di dalam sesetengah tasik yang mempunyai bahan organik yang sedikit, sedimennya terdiri daripada bahan yang sangat lekit dan berwarna kelabu atau kelabu kemerahan. Sedimen jenis ini dikenali sebagai **kopropel** (*kopros* = najis, *pelos* = lumpur) atau *gyttja*. Kopropel mempunyai tekstur yang halus dan terbentuk daripada campuran bahan-bahan humus, serpihan kecil

tumbuhan, sisa-sisa jasad alga, butiran kuartza dan mika. Frustul diatom, serpihan rangka luar haiwan artropod akuatik dan spora tumbuhan juga merupakan bahan yang membentuk kopropel. Fauna di dasar seterusnya bertanggungjawab mencampur dan mengubahsuai sedimen ini dengan cara menggunakan bahan-bahan ini ataupun menyumbangkan lagi najis-najis. Kopropel mempunyai nilai pH yang neutral dan kandungan humus di dalam sedimen selalunya mengandungi kurang daripada 50 peratus karbon organik.

"DY"

Dy ialah perkataan Scandinavia yang kerap digunakan dalam bidang limnologi untuk menghuraikan ciri am sedimen organik. Istilah ini telah diperkenalkan oleh **von Post** pada pertengahan abad kesembilan belas. Sedimen jenis ini terbentuk di kawasan **gambut**, dan dicirikan dengan sedimen berwarna coklat atau coklat kehitaman. Warna ini terhasil daripada penambahan koloid humus yang berwarna coklat kepada bahan seperti *gyttja* semasa keadaan anaerobik. Nilai pH sedimen ini rendah dan kandungan karbon organik pula selalunya melebihi 50 peratus.

SAPROPEL

Dalam keadaan anaerobik, terutamanya pada musim panas, sedimen yang kaya dengan bahan organik mungkin terurai untuk membentuk satu lagi jenis sedimen yang dikenali sebagai **sapropel**. Sapropel merupakan sedimen berwarna hitam kebiruan. Selain daripada warnanya, sedimen ini boleh dibezakan melalui kandungan **hidrogen sulfida** dan **metana** yang tinggi. Kehadiran bahan ini boleh dikesan melalui baunya yang kuat.

Sedimen tasik jarang-jarang terbentuk secara tulen. Pada amnya, komposisi dasar tasik merupakan campuran berbagai-bagai bahan yang terdiri terutamanya daripada bahan tak organik dari daratan. Bahan organik

daripada penghasilan biologi kemudiannya akan bergabung dengan komponen tak organik. Manusia juga turut menyumbangkan komponen sedimen melalui pencemaran. Bahan-bahan ini termasuklah racun makhluk perosak, logam berat dan unsur surih. Bahan-bahan ini masuk ke dalam rantai makanan biologi melalui organisma akuatik, termasuklah ikan yang memakan sedimen ini.

KEPENTINGAN KAJIAN SEDIMEN

Kita telah melihat bahawa kadar, kualiti dan jumlah sedimen yang terkumpul di dasar berbeza-beza mengikut musim dan perubahan iklim. Semasa musim hujan, lebih banyak lodak dibawa ke lembangan tasik. Lodak ini kemudiannya akan mendak di dasar. Zarah yang kasar akan mendak ke dasar, manakala zarah yang halus terampai di air. Pada musim kemarau, arus di tasik berkurangan dan ini memberi peluang untuk zarah yang lebih ringan untuk mendak. Maka dalam satu tahun, kita dapati dua lapisan sedimen terbentuk: lapisan zarah halus melapisi lapisan zarah kasar. Dengan mengkaji ketebalan lapisan-lapisan yang berbeza ini, maka usia sesuatu tasik dapat dianggarkan.

Kajian tentang sedimen juga boleh memberi gambaran bagaimana tasik terbentuk. Sebagai contoh, terdapat perbezaan antara tasik yang terbentuk daripada aktiviti glasier dengan tasik yang terhasil daripada tindakan gunung berapi. Tasik yang terbentuk daripada tindakan glasier banyak menerima bahan dari sungai dan tebing. Bahan ini termasuklah batu tongkol yang besar, batu kelikir, pasir kasar, pasir halus, lodak dan tanah liat. Tasik gunung berapi pula pada kebiasaannya mengandungi kuantiti bahan halus yang sedikit daripada tasik glasier. **Abu gunung berapi** pada amnya merupakan sedimen yang penting untuk tasik kawah ini dan kehadirannya boleh digunakan untuk menentukan usia tasik.

Kajian tentang mendapan tasik secara terperinci boleh memberi maklumat tentang perkembangan dan evolusi tasik. Ini boleh dilakukan memandangkan jasad haiwan dan tumbuhan yang wujud pada zaman silam boleh dijumpai pada stratum sedimen yang berbeza. Memandangkan stratum diatur secara **kronologi** dengan sedimen yang baru di permukaan, maka peristiwa utama dalam sejarah tasik dari mula pembentukannya hingga- lah ke hari ini boleh diikuti. Sebagai contohnya, perubahan produktiviti tasik daripada bersifat **oligotrofi** kepada peringkat **eutrofi** boleh diketahui dengan melihat perubahan bentos daripada spesies oligotrofi kepada spesies eutrofi. Perubahan persekitaran pada masa lampau juga boleh diketahui dengan melihat perubahan komposisi diatom di sedimen. Tahap pencemaran air seperti pencemaran logam berat juga boleh dikesan melalui penganalisan sedimen.

PENSAMPELAN SEDIMEN

Berbagai-bagai jenis analisis kimia dan biologi boleh dijalankan terhadap sedimen yang dikumpulkan dengan **pensampel sedimen**. Antara banyak alat yang boleh digunakan, **pengorek Ekman** merupakan alat yang sering digunakan untuk mendapatkan sedimen di dasar (Rajah 4.7). Pengorek Ekman mudah digunakan kerana ringan dan boleh didapati dalam beberapa saiz. Saiz yang sering digunakan berukuran 15 x 15 cm, 24 x 24 cm, dan 30 x 30 cm. Pengorek ini diturunkan secara perlahan-lahan dengan menggunakan tali dari sampan atau bot dengan mulut pengorek ini terbuka. Apabila pengorek ini telah mencecah . dasar , satu alat penghentak . 'atau *messenger* akan dilurutkan turun melalui tali dan akan . menyebabkan mulut pengorek tertutup dan memerangkap sedimen di dasar .

Walaupun pengorek Ekman ini mudah digunakan, tetapi alat ini mempunyai beberapa kelemahan. Alat ini hanya sesuai digunakan di dasar yang lembut dan berlumpur halus. Kawasan yang berlumpur ini juga perlu bebas

daripada benda keras seperti kayu, daun dan batu kerana kehadiran benda-benda ini akan menghalang mulut pengorek tertutup dengan kemas. Di samping itu, pensampel sedimen ini tidak berfungsi langsung di kawasan yang mempunyai dasar yang berpasir ataupun dasar yang keras.

Untuk mengatasi masalah ini, **pengorek Petersen** boleh digunakan. Alat ini digunakan secara meluas untuk mengambil sampel dari dasar keras seperti pasir, kelikir dan tanah liat (Rajah 4.7). Tidak seperti pengorek Ekman, pengorek Petersen begitu berat (30 kg atau lebih) dan memerlukan kren untuk mengendalikannya. Pengorek ini juga tidak memerlukan penghentak untuk mekanisme penutupan. Dengan hanya mengurangkan ketegangan tali, mulut pengorek ini boleh ditutup.

Untuk mengkaji pe:1stratuman dan taburan menegak sedimen, **pensampel teras** boleh digunakan (Rajah 4.8). Alat yang berukuran 60 cm panjang ini merupakan satu tiub loyang dengan muncung besi pada bahagian bawah dan pemberat dan injap di bahagian atas. Dengan menggunakan tali, pensampel teras ini akan diturunkan ke dalam air dan akan terbenam di dasar. Alat ini kemudiannya akan dinaikkan ke permukaan dan pembuka di bahagian bawah akan ditutup dengan gabus, manakala tiub kaca ditanggalkan dengan menanggalkan muncung besi.

ASAL USUL SUNGAI

Peringkat awal pembentukan sungai terhasil daripada tindakan air larian permukaan. Air hujan yang menimpa bumi akan mengalir di permukaan bumi melalui belahan atau alur yang terdapat di bumi. Air larian ini menuruni kecerunan melalui jalan yang paling sedikit memberi rintangan kepada pergerakannya. Semasa pergerakan ini, air menghakis batu dasar dan membesarkan lagi alur sungai.

Terdapat dua jenis hakisan: **hakisan mekanikal** dan **hakisan kimia**. Hakisan mekanikal berlaku melalui proses **pelasan** bahan-bahan yang dibawa oleh air. Bahan-bahan yang terdiri daripada mineral yang terlarut, pasir halus dan pasir kasar akan menggeser dan menghakis tebing alur yang ditempuhi. Arus sungai juga berkemampuan membawa batu- batu yang kecil di samping menggolekkan batu kelikir yang besar di dasar. Ini menambahkan lagi **daya geseran**. Hakisan kimia pula bermaksud hakisan tebing alur oleh air yang berasid. Hakisan ini berlaku terutamanya di kawasan yang mempunyai substrat yang mudah larut seperti di kawasan batu kapur.

Kadar air sungai menghakis alur nya ditentukan oleh tabii batuan dasar, iklim, kecerunan dan komposisi air. Batuan dasar yang lembut akan lebih mudah dihakis jika dibandingkan dengan batuan dasar yang keras. Di kawasan batuan dasar yang lembut, alur yang terbentuk pada amnya adalah dalam.

Iklim mempengaruhi proses hakisan melalui pengaruhnya terhadap keamatan dan kekerapan hujan. Pada musim hujan, isipadu dan halaju air sungai meningkat. Air yang mengalir deras mempunyai daya menghakis yang kuat. Kecerunan mempengaruhi halaju air dan seterusnya mempengaruhi kemampuan air untuk membawa bahan pelasan. Lebih cerun sesuatu kawasan yang ditempuhi oleh sungai, maka lebih lajulah pergerakan air. Halaju air yang meningkat ini membolehkannya membawa bahan-bahan pelasan yang lebih besar dan akhirnya meningkatkan kadar hakisan. Komposisi air pula penting dalam proses hakisan kimia kerana dapat mempengaruhi kemampuan air melarut substrat.

Pada amnya, sungai boleh dibahagi kepada tiga jenis yang utama berdasarkan kesediaan air . kebanyakan sungai di Malaysia adalah daripada jenis **sungai tetap** kerana air sungai sentiasa ada sepanjang tahun. Sungai ini mendapat bekalan air daripada **air bawah tanah**. Jenis yang kedua ialah

sungai terputus-putus yang menerima sumber air daripada **larian permukaan**. Disebabkan larian air bergantung pada musim, maka air sungai mengalir hanya pada musim hujan, manakala pada ketika lain airnya kering dan hanya meninggalkan alurnya sahaja. Jenis sungai yang terakhir dikenali sebagai **sungai gangguan**. Pergerakan air sungai ini secara selang-seli, pada satu bahagian sungai air mengalir di permukaan bumi, manakala pada bahagian lain air mengalir di bawah permukaan. Sungai ini biasanya ditemui di kawasan batu kapur.

BAB 5

Morfometri Tasik dan Sungai

Dalam menjalankan kajian habitat akuatik, pengetahuan yang terperinci tentang dimensi fizikal habitat ini sangat diperlukan. Pengukuran dan penganalisan faktor fizikal ini dikenali sebagai **morfometri**. Parameter morfometri seperti kedalaman, kedalaman purata, panjang, lebar, luas, isipadu, perkembangan garis tebing, aras air dan ketinggian dari aras laut merupakan data asas dalam menterjemahkan penganalisan ciri biologi, kimia dan fizikal air tawar.

Pengetahuan tentang beberapa morfometri ini boleh membantu kita meramalkan produktiviti biologi jasad air tersebut. **Hayes dan Anthony** (1964) telah mendapati bahawa produktiviti ikan di tasik boleh dikaitkan secara langsung dengan kedalaman purata dan luas permukaan. Parameter morfometri juga diperlukan untuk menilai kadar hakisan, kadar kemasukan nutrien, kandungan kimia, kandungan haba dan kestabilan terma.

MORFOLOGI LEMBANGAN TASIK

Morfologi lembangan tasik boleh menggambarkan peristiwa yang berlaku di dalam sistem. Dimensi fizikal ini bersaling tindak dengan cuaca dan faktor edafik sekeliling untuk menentukan tabii tasik dan seterusnya mewujudkan persekitaran yang sesuai untuk kemandirian penghuninya.

Morfologi tasik boleh dijelaskan dengan nyata dan tepat berpandukan **peta batimetrik** yang terperinci (Rajah 5.1). Peta batimetrik yang terperinci untuk tasik dan kolam agak sukar diperoleh. Sekiranya peta ini dapat diperoleh sama ada daripada agensi kerajaan atau sumber-sumber lain, ketepatan peta ini perlu ditentukan memandangkan bahawa morfo- metri tasik atau sungai berubah mengikut masa.

Adakalanya peta batimetrik perlu disediakan sendiri oleh ahli penyelidik. Penyediaan peta ini boleh dilakukan dengan membuat tinjauan garis tebing berdasarkan kaedah piawai. Dengan bantuan **fotografi udara**, kerja-kerja penyediaan peta ini menjadi lebih mudah. Kaedah untuk pemetaan tasik dan sungai telah dibincangkan dengan terperinci oleh **Welch (1948)** dan **Lind (1974)**.

Daripada peta batimetrik yang disediakan ini, beberapa maklumat boleh didapati.

BEBERAPA PARAMETER UTAMA TASIK

KEDALAMAN MAKSIMUM (Z_m)

Maklumat utama yang boleh didapati daripada peta batimetrik termasuklah maklumat berkenaan dengan **kedalaman maksimum**. Parameter ini dapat diketahui dengan melihat garis-garis kontur yang dilakarkan. Sekiranya kita perlu mendapatkan sendiri kedalaman maksimum di lapangan, kita boleh

dengan mudah mengukurnya dengan menggunakan penduga gema (*echosounder*). Alat ini menjanakan isyarat ultrasonik yang kemudiannya dipancarkan ke dasar tasik atau sungai. Isyarat ini akan bergerak melalui air sehingga tersentuh objek atau dasar. Apabila tersentuh objek atau dasar, isyarat ini akan dilantunkan kembali ke permukaan dan diterima oleh unit penerima. Isyarat ini kemudiannya diperbesarkan dan diperlihatkan melalui skrin (Rajah 5.2).

Penggunaan penduga gema membolehkan pengumpulan data kedalaman dilakukan dengan cepat dan tepat. Alat ini bukan sahaja boleh digunakan untuk mengukur kedalaman, tetapi juga untuk mengesan kedudukan dan kelimpahan ikan di lautan. Nelayan-nelayan terutamanya nelayan pukat tunda sangat bergantung pada penduga gema untuk menentukan kawasan penangkapan ikan. Kumpulan ikan yang besar di air boleh dikesan dan diperlihatkan di skrin penduga gemma.

Kedalaman maksimum tasik sangat berbeza-beza. Kita boleh bertemu dengan tasik yang mempunyai kedalaman maksimum beberapa meter sahaja hingga kepada tasik yang mempunyai kedalaman beribu-ribu meter. Perlu diingat bahawa disebabkan proses pemendakan, hakisan dan turun naik aras air, kedalaman tasik boleh bertukar dengan cepat. Jadi, penentuan kedalaman daripada peta lama perlu dilakukan secara berhati-hati dengan mengambil kira proses-proses ini.

Bercanggah dengan pendapat umum, sebenarnya tidak ada hubungan antara keluasan tasik dengan kedalaman tasik. Tasik yang paling dalam bukan bermakna mestilah juga paling luas. **Tasik Baikal** di Siberia merupakan tasik yang paling dalam dengan kedalaman maksimum 1741 m (Jadual 5.1). Namun begitu, keluasan permukaan tasik ini hanyalah 31 500 km². **Tasik Tanganyika** di Afrika merupakan tasik yang kedua terdalam

dengan kedalaman maksimum 1470 m, manakala **Laut Caspian** mempunyai kedalaman maksimum 946m.

KEDALAMAN PURATA (Z)

Kedalaman purata ialah hubungan antara isipadu (V) dan keluasan di permukaan, (A_0). Parameter ini dapat diukur dengan menggunakan formula:

$$Z = V/A_0$$

Nilai ini penting kerana memberi gambaran yang lebih jelas tentang perkadaran kedalaman-keluasan, di samping memberi maklumat tentang status trofik tasik. Tasik yang mempunyai kedalaman purata melebihi 18 m pada amnya menunjukkan ciri-ciri **tasik oligotrofi**, iaitu tasik yang mempunyai kandungan nutrien yang rendah. Tasik yang lebih cetek lebih produktif dan tergolong sebagai **tasik eutrofi**.

Sebagai contoh, **Laut Caspian** dengan kedalaman maksimum 946 m mempunyai kedalaman purata hanya 182 m apabila keluasan 436400 km² diambil kira dalam hubungan dengan isipadu 79 319 km³ (Jadual 5.1). **Tasik Baikal** pula dengan isipadu 23000 km³ dan keluasan 31 500 km². dan kedalaman maksimum 1741 m mempunyai kedalaman purata 730m.

Daripada data kedalaman purata, **indeks morfo-edafik** (MEI} boleh ditentukan. Indeks ini boleh diungkapkan sebagai:

$$MEI = \frac{\text{Jumlah bahan terlarut (TDS)}}{\text{Kedalaman purata}}$$

Kedalaman purata

Didapati bahawa terdapat korelasi positif antara MEI dengan penghasilan ikan di tasik. Ini bermakna bahawa tasik yang cetek atau yang mempunyai kepekatan ion yang tinggi mempunyai indeks morfoedafik yang tinggi.

Indeks morfoedafik yang tinggi pada amnya akan menghasilkan tangkapan ikan yang besar (Rajah 5.3).

KEDALAMAN RELATIF (Z_r)

Kedalaman relatif ialah nisbah kedalaman maksimum dan diameter purata tasik di permukaan yang diungkapkan dalam peratus. Formulanya ialah:

$$Z_r = \frac{50 Z_m \sqrt{A_0}}{\sqrt{A_0}}$$

dengan Z_m = kedalaman maksimum

A_0 = luas permukaan

Kebanyakan tasik mempunyai Z_r kurang dua peratus, manakala tasik dalam yang mempunyai luas permukaan yang kecil selalunya mempunyai Z_r melebihi empat peratus.

PANJANG MAKSIMUM (L)

Panjang maksimum ialah jarak antara dua titik yang paling jauh di tebing tasik. Pengukuran parameter ini memerlukan peta batimetrik ataupun fotografi udara.

LEBAR

Lebar maksimum ialah jarak maksimum antara tebing yang diukur pada sudut tepat dengan panjang maksimum. Lebar purata pula bersamaan dengan keluasan dibahagikan dengan panjang maksimum.

KELUASAN (A_0)

Keluasan permukaan ialah dimensi yang sangat penting memandangkan tenaga suria memasuki habitat akuatik melalui permukaan. Lagipun,

berbagai-bagai jenis data untuk tasik dirujuk sebagai unit keluasan dan ini membolehkan perbandingan yang bermakna antara jasad air yang berlainan saiz. Disebabkan oleh variasi isipadu secara bermusim, luas permukaan sesuatu tasik mungkin menunjukkan turul:1 naik yang besar .

Keluasan boleh ditentukan dengan tepat dan mudah dengan menggunakan **planimeter kutub** (Rajah 5.4). Alat ini digunakan bersama-sama dengan peta atau gambar udara; Planimeter kutub direka khusus untuk mengukur luas permukaan mendatar, tanpa mengambil kira bentuk permukaan yang diukur. Kaedah pengukuran boleh dilaksanakan dengan cepat dan tepat sekiranya digunakan dengan betul.

Habitat lentik yang paling luas ialah **Laut Caspian** dengan keluasan 436 400 km² (Jadua I5.1). **Tasik Superior** yang mempunyai keluasan 83 300 km² merupakan tasik yang kedua paling luas dan diikuti oleh **Tasik Victoria** yang mempunyai keluasan 68 800 km².

ISIPADU (V)

Ukuran **isipadu jasad** boleh didapati dengan mengukur jumlah air yang terkandung dalam setiap stratum yang dibatasi oleh kontur kedalaman. Ini bermakna peta batimetrik sangat diperlukan. Disebabkan kelerengan dasar, maka perlulah kedua-dua keluasan permukaan, iaitu bahagian atas dan bahagian bawah diambil kira. Isipadu setiap stratum (V) boleh diukur dengan menggunakan formula:

$$\text{Isipadu, } V = +h (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2})$$

dengan h ialah kedalaman menegak stratum, A ialah keluasan permukaan stratum atas, manakala A ialah keluasan permukaan stratum bawah. Hasil tambah (kamiran) kesemua isipadu akan memberi jumlah isipadu tasik (V).

Daripada kesemua tasik di dunia, **Laut Caspian** mempunyai isipadu yang paling besar, iaitu 79319 km^3 . **Tasik Baikal** pula mempunyai isipadu 21000 km^3 (Jadua I5.1) dan **Tasik Tanganyika** mempunyai isipadu $18\,940 \text{ km}^3$.

KELUK HIPSOGRAFIK

Keluk hipsografik merupakan persembahan secara grafik tentang hubungan antara luas permukaan tasik dengan kedalaman. Keluk ini boleh diungkap dalam unit luas mutlak atau dalam bentuk peratusan.

KELUK ISIPADU KEDALAMAN

Keluk isipadu berkaitan rapat dengan keluk hipsografik dan mewakili hubungan antara isipadu tasik dengan kedalaman. Unitnya boleh diungkap sebagai unit mutlak atau dalam peratusan isipadu.

GARIS TEBING (SL)

Garis tebing ialah jarak sekeliling perimeter tasik. Parameter ini kadangkala boleh diukur terus di lapangan. Walau bagaimanapun, maklumat ini selalunya boleh didapati daripada peta dengan bantuan pengukur peta ataupun **chartometer** (Rajah 5.4).

Alat ini direkabentuk untuk mengukur panjang garisan dengan cara roda berputar. Setiap pusingan roda ini akan memutar dial bersengat. Setiap pusingan dial menggambarkan unit jarak yang dilalui oleh roda berputar.

PERKEMBANGAN GARIS TEBING (SD) DAN KELERENGAN PURATA (S)

Perkembangan garis tebing bolehlah ditakrifkan sebagai nisbah panjang garis tebing dan panjang lilitan bulatan yang sama luas dengan tasik tersebut. Perkembangan garis tebing boleh dikira dengan menggunakan formula:

Perkembangan garis tebing, $SD = \frac{SL}{2\sqrt{\pi A_0}}$

$$2\sqrt{\pi A_0}$$

dengan SL ialah panjang garis tebing dan A_0 ialah luas permukaan.

Disebabkan nisbah ini dihubungkan dengan bulatan, satu lembangan yang betul-betul bulat akan mempunyai indeks 1. Dengan bertambahnya ketaksekatan pinggir tasik seperti kewujudan teluk dan tanjung, maka nilai perkembangan garis tebing turut meningkat.

Perkembangan garis tebing memberi gambaran tentang kemampuan tasik ini untuk memperkembangkan komuniti litoral. Nilai perkembangan garis tebing yang besar bermakna terdapat banyak kawasan yang cetek. Kawasan cetek di pinggir tasik memberi kesan terhadap magnitud ombak, kekeruhan dan aktiviti biologi. Apabila cahaya matahari memasuki persekitaran akuatik, fotosintesis dan perkembangan organisma dasaran boleh mengayakan tasik.

Selain daripada data perkembangan garis tebing, ciri-ciri **kelerengan** dan **bentuk beting** merupakan data morfometri yang boleh membantu dalam menerangkan status trofik. Lembangan tasik yang mempunyai kelerengan landai atau beting yang lebar boleh dijangka lebih produktif secara biologi daripada tasik dalam dengan tebing yang curam.

Kelerengan purata boleh diungkapkan secara kuantitatif sebagai peratus kelerengan lembangan dengan menggunakan formula:

$$\frac{1}{n}$$

$$s = \frac{1}{n} (1/2 L_0 + L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_{m-1} + 1/2 L_n) D_m / A$$

dengan

L = panjang setiap kontur, n = bilangan kontur pada peta batimetri, D_m = kedalaman maksimum; dan A = luas permukaan tasik

KETINGGIAN TASIK RELATIF DARI ARAS LAUT

Kebanyakan permukaan tasik terletak di atas aras laut. Walau bagaimanapun, sebahagian daripada lembangan tasik tersebut mungkin terletak di bawah aras laut. Bahagian di bawah laut ini dikenali sebagai **kriptolekukan**. Sebagai contohnya, **Tasik Baikal** mempunyai kedalaman maksimum 1741 m. Daripada kedalaman ini, lebih kurang 73 peratus (1279 m) menduduki kriptolekukan.

Terdapat juga beberapa tasik di dunia mempunyai permukaan yang terletak di bawah aras laut. Sebagai contohnya, permukaan **Laut Caspian** terletak 25 m di bawah aras laut. Pada sudut yang lain pula, ada lembangan tasik yang dijumpai tinggi di atas gunung. Satu contoh yang baik ialah **Tasik Titicaca** di Amerika Selatan yang terletak pada ketinggian 3842 m di atas aras laut. Tasik yang terletak di aras tinggi terdedah kepada keadaan sejuk dan selalunya dilitupi salji sepanjang masa. Tasik-tasik ini juga menerima cahaya matahari yang lebih terik memandangkan kurang sinaran diserap oleh udara pada ketinggian ini. Disebabkan oleh perbezaan ini, biota tasik di aras tinggi selalunya unik dan berbeza daripada biota tasik di aras rendah.

TEBING TASIK

Tebing tasik sentiasa berubah-ubah dari masa ke masa. Pengubahsuaian garis tebing tidak dapat dielakkan dan disebabkan oleh beberapa proses yang berlaku sama ada secara dalaman atau luaran.

Tasik yang baru terbentuk merupakan satu sistem yang dinamik. Daya dalaman yang ditunjukkan oleh ombak dan arus bertindak ke atas tebing. Pergerakan airnya ditentukan pula oleh faktor luaran, iaitu angin. Berapa cepat pengubahsuaian tebing berlaku bergantung pada tabii tanah dan

lereng lembangan. Lembangan yang terbentuk secara **tektonik** di kawasan igneus yang rintang terhadap hakisan selalunya mempunyai pinggir yang curam. Ombak jarang-jarang dapat mengubah pinggir yang curam ini. Sebaliknya, lembangan yang agak landai di kawasan batuan yang mudah terhakis (seperti batu kapur) lebih terdedah kepada **hakisan hidromekanik** dan menyebabkannya mudah mengalami perubahan. Sejauh mana hakisan ini berlaku bergantung pada saiz tasik, magnitud ombak, kedalaman air dan komposisi bahan-bahan tebing.

Sungai merupakan satu faktor luaran yang bertanggungjawab mengubahsuai garis tebing, tebing dan dasar tasik. Bergantung pada kelajuan air dan bahan yang dibawa, sungai bertanggungjawab menyumbangkan sedimen ke dalam tasik. Zarah yang berat selalunya mendak di zon pertemuan antara sungai dengan tasik dan membentuk delta. Sedimen yang lebih ringan mungkin dibawa lebih jauh ke tengah tasik dan akan tenggelam ke dasar.

BENTUK LEMBANGAN TASIK

Bentuk lembangan tasik berbeza-beza (Rajah 5.5). Pada amnya, bentuk tasik ditentukan oleh asal usul tasik itu sendiri. Namun begitu, bentuk asal tasik boleh diubah oleh proses geologi atau proses organik.

Tasik yang terbentuk hasil daripada proses pelarutan batu kapur selalunya berbentuk bulat. Selain itu, tasik yang terhasil oleh tindakan gunung berapi dan lekukan tahi bintang juga mengambil bentuk yang serupa. Tasik sirk dicirikan oleh bentuk separuh bulat. Tasik tektonik mempunyai bentuk subsegiempat tepat, manakala tasik hasil daripada halangan tanjung pasir di muara sungai berbentuk segitiga.

Tasik berbentuk dendritik banyak mempunyai teluk dan tanjung. Tasik ini terhasil daripada sungai yang tersekat pergerakannya. Tasik ladam mudah dikenali daripada bentuk lunat atau bulan sabit.

KAEDAH PENGUKURAN DAN ANALISIS MORFOMETRI SUNGAI

Sungai boleh ditakrifkan sebagai satu jasad air bersama-sama dengan bebanan nya yang bergerak mengikut corak tertentu. Air sungai mengalir dari kawasan tinggi ke kawasan rendah melalui jalan yang memberi rintangan paling kurang kepada pergerakannya. Sungai berperanan untuk mengangkut air serta bahan, dan kualiti ini yang membezakan jasad air sungai daripada persekitaran tasik.

Pengaliran air di sungai adalah secara ekahala. Oleh sebab taburan hujan berbeza-beza mengikut musim sama ada dari segi kekerapan dan isipadu, maka perubahan besar dalam isipadu air, kadar pengaliran, saiz saluran dan kadar hakisan tanah adalah dijangka. Berkaitan dengan ini, maka kita dapati dasar dan kawasan tebing sungai juga turut tidak stabil.

Memandangkan sungai bertanggungjawab dalam membentuk dan mengubah saluran sungai dan memandangkan morfologi saluran terhasil daripada tindakan hidraulik, beberapa parameter sungai perlu diambil perhatian. Beberapa sifat morfologi yang dibincangkan untuk persekitaran tasik (seperti kedalaman, panjang dan lebar) boleh digunakan dari segi prinsip dan kaedah untuk melakukan penyelidikan di sungai. Di samping itu, sifat pengaliran air di sungai memperkenalkan beberapa sifat unik yang tidak ditemui di tasik.

KEDALAMAN MAKSIMUM DAN PURATA

Kedalaman sungai selalunya merujuk pada kedalaman maksimum sesuatu bahagian sungai. Bagi kebanyakan sungai, parameter ini ditentukan melalui pendugaan. Walau bagaimana- pun, sekiranya carta pelayaran boleh

diperoleh, maka kita mudah mendapatkan maklumat kerana carta ini memperlihatkan kedalaman. Kedalaman purata (d) pula boleh diungkapkan sebagai:

$$d = \frac{A}{W}$$

dengan

A = Luas keratan rentas sungai

W = Lebar sungai

PANJANG

Panjang sungai merujuk pada keseluruhan panjang sungai dari hulu ke hilir ataupun panjang bahagian sungai yang dikaji.

Panjang sungai boleh ditentukan dengan dua cara: (1) pengukuran langsung di lapangan; dan (2) pengukuran daripada peta yang dilengkapi dengan skala. Bagi anak sungai, pengukuran langsung dapat memberikan keputusan yang memuaskan. Pengukuran daripada peta boleh dilakukan dengan menggunakan **pengukur peta**.

Panjang sungai menunjukkan variasi yang besar. Sungai-sungai yang terdapat di kawasan pergunungan pada umumnya mempunyai ukuran yang pendek.

LEBAR

Lebar sungai biasanya diukur di lapangan. Walau bagaimanapun, pengukuran lebar sungai secara langsung menimbulkan masalah kerana aras air yang sentiasa berubah. Untuk tujuan limnologi, pengukuran perlu dilakukan pada keseluruhan bahagian sungai, dari bahagian yang paling

sempit hingga kepada bahagian yang paling luas. Daripada data ini lebar purata oleh diperolehi.

Pengukuran lebar sungai daripada peta biasa tidak digalakkan. Peta biasa mempunyai skala yang kecil dan menyebabkan pengukuran lebar tidak tepat.

LUAS

Luas permukaan sungai merujuk pada ukuran permukaan sungai yang terdedah. Parameter ini berubah-ubah mengikut musim. Luas sungai berada pada tahap maksimum semasa musim hujan dan pada tahap minimum semasa musim kemarau. Satu lagi pendekatan untuk parameter keluasan ialah konsep keluasan keratan rentas. Dimensi ini boleh diperolehi dengan mendarabkan kedalaman purata dengan lebar sungai.

ISIPADU

Jumlah air yang tersimpan di saluran membentuk **isipadu** sungai. Dimensi ini boleh ditentukan sama seperti yang digunakan untuk tasik. Nilainya didapati dengan mengamirkan isipadu setiap stratum yang dihadkan oleh kontur kedalaman. Disebabkan air sungai mengalir, istilah **discas** digunakan.

Istilah discas merujuk pada jumlah isipadu air yang melintasi sesuatu bahagian sungai dalam satu jangka masa tertentu. Discas ditentukan oleh bentuk saluran, luas keratan rentas sungai dan kecerunan sungai. Daripada faktor-faktor ini, discas boleh diungkapkan sebagai:

$$Q = W D_m V_m$$

dengan discas (Q) dihubungkan dengan purata kedalaman saluran (D_m), lebar sungai (W) dan purata halaju (V_m). Sifat bahagian dasar turut mempengaruhi nilai discas. Sebagai contoh, sekiranya dasar kesat, Q didarabkan dengan 0.8; sekiranya dasar licin, Q didarabkan dengan 0.9. Sekiranya kedalaman sungai kurang daripada dua kaki, Q didarabkan

dengan 1.33 dan sekiranya kedalaman melebihi 10 kaki, nilai Q perlu didarabkan dengan 1.05. Jadual 5.2 menunjukkan perbandingan beberapa sungai terbesar di dunia.

BAB 6

Cahaya dan Haba

Sinar matahari yang sampai ke permukaan jasad air memainkan peranan penting bukan sahaja kepada dinamik sesuatu ekosistem akuatik, tetapi juga mempengaruhi taburan dan sebaran haiwan dan tumbuhan. Di samping bertanggungjawab memanaskan persekitaran akuatik, matahari merupakan sumber tenaga utama yang mengawal metabolisme tasik. Tenaga suria diperangkap oleh organisma-organisma **fototrof** untuk melaksanakan proses fotosintesis. Seperti yang telah dibincangkan dalam Bab 1, organisma-organisma fototrof yang diwakili oleh tumbuhan, sama ada yang terapung, atau melekat, merupakan asas kepada rantai makanan di dalam sesuatu persekitaran akuatik. Selain daripada mempengaruhi penghasilan tumbuhan, cahaya juga berperanan mempengaruhi taburan dan sebaran komuniti zooplankton dan komuniti bentos. Tindak balas terhadap perubahan cahaya memaksa zooplankton melakukan **penghijrahan diurnal**. Bentos pula bertindak balas kepada cahaya dengan menunjukkan penyesuaian kelakuan seperti menyembunyikan diri di dalam lumpur atau di bawah batu pada waktu siang dan hanya akan keluar pada waktu malam.

Cahaya yang sampai daripada matahari mempunyai jarak gelombang, keamatan dan arah cirian. Cahaya yang memasuki atmosfera bumi dan seterusnya memasuki jasad akuatik akan mengalami perubahan secara kualitatif dan kuantitatif. Semasa melalui udara, cahaya diserap, disebar, dipantul atau dibias secara pilihan sebelum sampai ke permukaan tasik atau

sungai. Di dalam air, cahaya sekali lagi diubahsuai oleh medium cecair yang lebih berat.

TABURAN CAHAYA

Cahaya yang kita lihat merupakan segmen yang sangat kecil daripada satu **spektrum elektromagnetik**. Spektrum elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari menjangkau daripada sinar gama yang sangat pendek (10-3 nm) tetapi bertenaga tinggi hinggalah kepada gelombang radio yang mempunyai jarak gelombang melebihi 1 km. Walau bagaimanapun, kebanyakan daripada sinaran ini tidak sampai ke permukaan bumi. "

Segmen utama spektrum elektromagnetik yang sampai ke permukaan air terdiri c daripada **cahaya nampak (cahaya putih)**, sinar ultralembayung dan sinar ultramerah. Segmen cahaya nampak boleh dipecahkan kepada beberapa warna, iaitu daripada warna lembayung hinggalah kepada warna merah. Setiap warna dikenali oleh satu julat jarak gelombang yang tertentu.

Dalam setahun, jumlah tenaga suria yang sampai ke atmosfera luaran bumi begitu besar sekali kira-kira 1.3×10^{21} kcal. Walau bagaimanapun, kebanyakan tenaga ini tidak sampai kepada organisma fototrof. Hampir 30% **tenaga insolasi** (cahaya yang sampai di lapisan luaran atmosfera) akan dipantulkan oleh atmosfera dan akhirnya hilang ke angkasa lepas. Sinar matahari yang berjaya menembusi lapisan atmosfera pula akan melalui beberapa proses sebaran, penyerapan dan penyelerakan sebelum sampai ke bumi. Tenaga suria akan disembarkan oleh molekul gas, debu dan zarah awan. Karbon dioksida, wap air dan lapisan ozon yang terdapat di udara juga berkemampuan menyerap sinaran terutamanya sinar inframerah di samping menyelerakkan sinar matahari. Ini menyebabkan pemanasan atmosfera secara langsung.

Apa pula yang terjadi kepada cahaya yang sampai ke permukaan akuatik seperti tasik atau sungai? Tidak semua cahaya yang sampai di permukaan jasad air masuk ke dalam air. Sebahagiannya dipantulkan serta-merta dan tidak berpeluang langsung memasuki air. Peratusan cahaya yang dipantulkan dikenali sebagai **albedo**. Jumlah yang dipantulkan bergantung pada **sudut tuju** sinar matahari, keadaan permukaan air dan kandungan bahan terlarut/terampai di air.

Sekiranya matahari berkedudukan tegak di atas kepala, pantulan adalah minimum memandangkan cahaya jatuh ke permukaan air secara seranjang. Pantulan maksimum boleh berlaku ketika matahari baru timbul ataupun hampir terbenam kerana pada masa ini sudut tuju paling rendah. Di kawasan temperat, pantulan maksimum berlaku pada musim sejuk. Permukaan air yang berombak kecil pula didapati membenarkan lebih banyak penembusan cahaya berbanding dengan permukaan air yang berombak besar.

Beberapa faktor lain juga bertanggungjawab memantulkan cahaya. Molekul air, zarah terampai dan zarah terlarut boleh memantulkan kira-kira 5 hingga 10 peratus daripada sinar matahari. Sebarang debu atau minyak yang wujud di permukaan bukan sahaja turut membantu memantulkan tetapi juga menyerap cahaya. Di kawasan latitud dan altitud tinggi, pemantulan boleh mencapai 90% sekiranya salji terbentuk di permukaan. Satu lagi faktor yang boleh mempengaruhi sebaran cahaya tasik ialah flora akuatik. Organisma autotrof ini memantulkan cahaya secara pilihan. Sebagai contoh, alga biru-hijau dan makrofit yang terapung di permukaan akan menyerap cahaya merah dan biru tetapi memantulkan cahaya hijau dan inframerah. Ini dapat menjelaskan mengapa tasik yang kaya dengan tumbuhan seni ini kelihatan hijau-kehijauan.

Dalam setahun, jumlah tenaga suria yang sampai ke atmosfera luaran bumi begitu besar sekali kira-kira 1.3×10^{21} kcal. Walau bagaimanapun, kebanyakan tenaga ini tidak sampai kepada organisma **fototrof**. Hampir 30% **tenaga insolasi** (cahaya yang sampai di lapisan luaran atmosfera) akan dipantulkan oleh atmosfera dan akhirnya hilang ke angkasa lepas. Sinar matahari yang berjaya menembusi lapisan atmosfera pula akan melalui beberapa proses sebaran, penyerapan dan penyelerakan sebelum sampai ke bumi. Tenaga suria akan disebarkan oleh molekul gas, debu dan zarah awan. Karbon dioksida, wap air dan lapisan ozon yang terdapat di udara juga berkemampuan menyerap sinaran terutamanya sinar inframerah di samping menyelerakkan sinar matahari. Ini menyebabkan pemanasan atmosfera secara langsung.

Apa pula yang terjadi kepada cahaya yang sampai ke permukaan akuatik seperti tasik atau sungai? Tidak semua cahaya yang sampai di permukaan jasad air masuk ke dalam air. Sebahagiannya dipantulkan serta-merta dan tidak berpeluang langsung memasuki air. Peratusan cahaya yang dipantulkan dikenali sebagai **albedo**. Jumlah yang dipantulkan bergantung pada **sudut tuju** sinar matahari, keadaan permukaan air dan kandungan bahan terlarut/terampai di air.

Sekiranya matahari berkedudukan tegak di atas kepala, pantulan adalah minimum memandangkan cahaya jatuh ke permukaan air secara seranjang. Pantulan maksimum boleh berlaku ketika matahari baru timbul ataupun hampir terbenam kerana pada masa ini sudut tuju paling rendah. Di kawasan temperat, pantulan maksimum berlaku pada musim sejuk. Permukaan air yang berombak kecil pula didapati membenarkan lebih banyak penembusan cahaya berbanding dengan permukaan air yang berombak besar.

Beberapa faktor lain juga bertanggungjawab memantulkan cahaya. Molekul air, zarah terampai dan zarah terlarut boleh memantulkan kira-kira 5 hingga 10 peratus daripada sinar matahari. Sebarang debu atau minyak yang wujud di permukaan bukan sahaja turut membantu memantulkan tetapi juga menyerap cahaya. Di kawasan latitud dan altitud tinggi, pemantulan boleh mencapai 90% sekiranya salji terbentuk di permukaan. Satu lagi faktor yang boleh mempengaruhi sebaran cahaya tasik ialah flora akuatik. Organisma autotrof ini memantulkan cahaya secara pilihan. Sebagai contoh, alga biru-hijau dan makrofit yang terapung di permukaan akan menyerap cahaya merah dan biru tetapi memantulkan cahaya hijau dan inframerah. Ini dapat menjelaskan mengapa tasik yang kaya dengan tumbuhan seni ini kelihatan hijau-kehijauan.

PELINDAPAN CAHAYA

Kajian-kajian yang dijalankan di makmal mendapati bahawa cahaya yang melalui atau melintasi satu turus air tulen akan mengalami pengurangan keamatan seluruh secara eksponen. Di samping itu, cahaya tersebut turut juga mengalami perubahan komposisi spektrum mengikut kedalaman (Rajah 6.1). Cahaya merah yang mempunyai jarak gelombang 720 nm dan cahaya jingga yang mempunyai jarak gelombang 620 nm akan mengalami pemupusan seluruh pada kedalaman 1 dan 20 meter masing-masing. Pada kedalaman 70 meter, cahaya hijau (510 nm) dan biru (460 nm) masih boleh ditemui pada keamatan yang tinggi, 48% dan 68% masing-masing daripada keseluruhan cahaya tuju. Walaupun cahaya kuning (560 nm) dan lembayung (390 nm) masih boleh ditemui pada kedalaman ini, namun keamatan nya lebih rendah.

Fenomenon ini berlaku disebabkan oleh proses penyebaran dan penyerapan secara pilihan oleh molekul air. Istilah **penyerapan** bermaksud transformasi tenaga cahaya kepada haba.

Pengurangan keamatan (pelindapan) cahaya semasa memasuki air suling ini boleh diungkapkan sebagai **Hukum Lamberk**, iaitu

$$I_d = I_o e^{-k_d d}$$

dengan

I_o = keamatan asal cahaya yang masuk

I_d = keamatan cahaya pada kedalaman

e = asas logaritma jati

k_d = pekali pemupusan pada kedalaman d .

Daripada persamaan di atas didapati bahawa sekiranya nilai k_d tinggi, maka pemancaran cahaya melalui air adalah rendah dan begitu juga sebaliknya.

Jadual 6.1 menunjukkan **pekali pemupusan** cahaya monokromatik. Memandangkan cahaya inframerah mempunyai pekali pemupusan yang paling tinggi, maka cahaya ini tidak dipancarkan jauh ke dalam air. Cahaya ini diserap dengan cepat pada kedalaman satu atau dua meter dari permukaan. Cahaya yang paling jauh dipancarkan ialah cahaya biru dan ini menjelaskan mengapa air di kawasan dalam kelihatan biru-kebiruan.

Hukum Lambert mengandaikan bahawa air yang digunakan ialah air tulen dan cahaya yang digunakan pula bersifat monokromatik (satu jarak gelombang). Disebabkan oleh kedua-dua andaian ini tidak wujud dalam keadaan semula jadi, beberapa pengubahsuaian perlu dilakukan terhadap hukum ini.

Air di habitat semula jadi mengandungi bahan terlarut dan bahan zarah. Disebabkan itu, pekali pemupusan perlu diubahsuai seperti berikut:

$$k_d = k_w + k_1 + k_p$$

dengan

k_w = pemupusan disebabkan oleh molekul air

k_1 = pemupusan disebabkan oleh bahan terlarut

k_p = pemupusan disebabkan oleh bahan zarah (pepejal) Bagi air tulen, $k_1 = k_p = 0$ dan pekali pemupusan $k_d = k_w$

Secara amnya, lebih kurang 50% daripada jumlah cahaya tuju ditukarkan kepada haba dan menjalani pemupusan di kawasan satu meter yang pertama dari permukaan. Gelombang yang lebih panjang (merah dan jingga) dan sinar yang lebih pendek (ultralembayung dan lembayung) mengalami pemupusan lebih cepat daripada gelombang pertengahan (biru, hijau dan kuning).

Fitoplankton menunjukkan penyesuaian fotosintesis yang berbeza bergantung pada keamatan cahaya. Pada keamatan cahaya yang rendah atau sederhana, terdapat perhubungan secara langsung antara fotosintesis dengan keamatan cahaya kerana cahaya merupakan **faktor pengehad** kepada fotosintesis (Rajah 6.2). Dengan meningkatnya keamatan, maka kadar fotosintesis juga turut meningkat. Pada keamatan yang lebih tinggi, fotosintesis tidak lagi mengikut **keluk keamatan cahaya**. Fotosintesis mungkin menjadi stabil atau menurun apabila mendekati permukaan disebabkan **foto rencatan** oleh sinaran cahaya yang kuat. Tahap apabila fotosintesis tidak meningkat dengan peningkatan keamatan cahaya dikenali sebagai **ketepuan keamatan cahaya**.

CIRI -CIRI PENTING

CAHAYA DI TASIK

Seperti yang telah disebutkan di bahagian awal bab ini, terdapat penyerapan secara pilihan semasa cahaya memasuki persekitaran akuatik. Hujung inframerah dan merah akan diserap dahulu. Penyerapan gelombang ini akan menghasilkan kesan pemanasan kawasan satu meter pertama dari permukaan. Pada kedalaman 100 m, hanya cahaya biru-hijau (475 nm) ditemui. Sekiranya kita pecahkan spektrum kepada sinar ultralembayung, biru, hijau, merah dan inframerah, kita dapati bahawa aturan tertib mengikut pemupusan secara meningkat ialah biru, hijau, ultralembayung, merah dan inframerah.

Kehadiran bahan terlarut di dalam air boleh mengubah aturan penyerapan oleh cahaya yang memasuki persekitaran akuatik. Pekali pemupusan didapati paling tinggi untuk gelombang pendek dan paling rendah untuk gelombang panjang. Secara relatif, air suling menyerap sedikit ultralembayung tetapi akan meningkatkan kadar penyerapan nya dengan besar sekiranya hadir bahan terlarut walaupun sedikit. Selain daripada cahaya ultralembayung, pemancaran sinar biru (gelombang pendek) turut dikurangkan. Bagi jasad semula jadi, kita dapati bahawa aturan tertib mengikut pemupusan secara meningkat untuk lima sinar yang kita berikan di atas, berubah kepada sinar hijau, biru, merah, ultralembayung dan inframerah.

Walau bagaimanapun, aturan ini akan diubahsuai selanjutnya dengan kehadiran bahan zarah di dalam air. Ini memandangkan air akan mengambil warna zarah terampai tersebut dan mengurangkan pemancaran nya. Sebagai contoh, kehadiran **ombak merah** akan menyerap warna hijau dan mengurangkan pemancaran nya.

Selain daripada mengubah daya pilihan penyerapan cahaya. bahan terampai juga bertindak mengurangkan keamatan cahaya tuju secara mendadak. Pada amnya. keamatan cahaya dikurangkan hingga 50% pada kedalaman satu atau dua meter dari permukaan. Bagi air yang lebih keruh. pengurangan keamatan ini semakin ketara kerana kehilangan cahaya seratus peratus boleh berlaku di kedalaman yang serupa (Rajah 6.3).

Satu lagi bentuk pemilihan cahaya berlaku di permukaan air terutamanya di tasik jernih. Aktiviti ini berupaya untuk mengurangkan keamatan cahaya tertentu daripada memasuki jasad air. Fenomenon **penyebaran oleh molekul air** ini kerap kali menyebarkan cahaya yang mempunyai jarak gelombang yang pendek. Cahaya biru merupakan jarak gelombang yang utama disebarkan ke permukaan di air yang lutsinar. Fenomenon penyebaran ini dapat menjelaskan mengapa air tasik oligotrofi (tasik kekurangan nutrien) kelihatan biru-kebiruan. Air keruh yang terhasil daripada bahan terlarut dan zarah yang dikandungi tidak memperlihatkan fenomena penyebaran molekul ini.

Seperti yang disebutkan di atas. sebahagian besar tenaga daripada cahaya merah dan lembayung akan diserap dengan cepat di permukaan. Ini menjadikan keberkesanan klorofil di dalam air terbatas memandangkan klorofil juga menyerap dengan baik tenaga daripada bahagian merah dan lembayung. Untuk mengatasi masalah ini. fitoplankton dan alga benthik mempunyai **pigmen aksesori**. Pigmen ini berfungsi sebagai antena yang mampu menyerap tenaga cahaya daripada berbagai-bagai gelombang dan kemudiannya mengalihkan tenaga ini kepada klorofil. Pigmen aksesori ini menyerap bahagian spektrum yang tidak dapat diserap oleh klorofil.

Pengukuran yang paling tepat untuk mengukur sinaran suria ialah dengan menggunakan **radas fotoelektrik** yang menggunakan pelbagai kertas turas berwarna. Fotosel yang diletakkan dalam satu kotak kalis air disambung

kepada galvometer dan sel ini diturunkan mengikut kedalaman yang dikehendaki. Sinaran yang mengenai sel boleh ditentukan secara langsung melalui pembacaan galvometer di permukaan.

WARNA DI TASIK

Warna tasik berbagai-bagai, bergantung pada tabii dan kuantiti bahan terlarut dan terampai, kualiti cahaya dan faktor-faktor lain. Warna tasik ditentukan oleh cahaya yang dipantulkan. Dua jenis warna boleh dikenali: **warna sebenar** dan **warna ketara**. Warna sebenar ialah warna yang dihasilkan oleh bahan-bahan yang terlarut atau koloid yang terampai. Dengan kehadiran bahan zarah terampai di air, warna ini akan diubahsuai untuk membentuk warna ketara. Selain daripada bahan terampai, faktor dasar, awan, pantulan flora dan pantulan langit juga mempengaruhi warna ketara. Untuk menentukan warna sebenar, sampel air patut dituras atau diemparkan terlebih dahulu. Tindakan ini dapat membebaskan air daripada punca-punca yang bertanggungjawab menghasilkan warna ketara.

Bagi tasik yang mempunyai sedikit bahan terlarut, warna sebenar tasik ialah biru-kebiruan. Sekiranya terdapat jumlah bahan terlarut yang sederhana, tasik akan memperlihatkan warna hijau. Warna hijau juga boleh terhasil oleh kewujudan zarah terampai seperti tanah liat yang halus. Jika terdapat kuantiti bahan terlarut yang banyak terutamanya bahan organik, tasik akan kelihatan kuning atau coklat.

Kandungan zarah yang banyak pula akan menghasilkan berbagai-bagai warna ketara daripada warna merah coklat hinggalah kepada warna kuning dan hijau. Fitoplankton yang kerap membentuk zarah penting di tasik sebagai contohnya, bertanggungjawab menghasilkan beberapa warna. Kembangan alga terutamanya daripada filum Chlorophyta akan menghasilkan warna hijau, manakala kembangan dinoflagelat atau

organisma euglenoid akan menghasilkan warna merah. Namun begitu, air berwarna merah boleh juga terhasil daripada kehadiran ferum hidroksida. Kewujudan komuniti diatom yang besar pula boleh mewarnakan tasik kepada kuning atau coklat kekuningan.

Secara amnya, tasik yang sangat produktif akan kelihatan kuning atau coklat disebabkan kewujudan bahan organik yang banyak. Tasik yang kurang produktif pula kelihatan biru atau hijau.

Warna air berubah daripada permukaan hingga ke dasar dan menunjukkan sirat ketaksekataan. Warna air di dasar selalunya lebih gelap jika dibandingkan dengan warna air di permukaan. Bahan organik daripada sedimen di dasar mewujudkan warna yang lebih gelap ini.

Warna tasik juga berubah mengikut musim. **Larian air** permukaan menyumbangkan kuantiti bahan organik dan tak organik yang banyak dan ini memberikan warna yang berlainan. Kita biasa melihat tasik menjadi lebih keruh pada musim hujan. Pada musim panas pula, kita dapat melihat pertumbuhan alga yang begitu merangsangkan. **Kembangan alga** ini yang memberikan warna hijau kepada jasad air. Satu lagi faktor yang penting ialah proses **pelunturan warna** akibat daripada pendedahan kepada cahaya. Ini dapat menjelaskan variasi warna setempat yang kita temui di tasik yang terang pada satu bahagian tasik daripada bahagian tasik yang lain.

Beberapa skala warna telah direkabentuk untuk membezakan warna sebenar tasik secara empirik dengan beberapa sebatian tak organik dalam pencairan bersiri. **Unit platinum-kobalt** paling kerap digunakan. Teknik asas melibatkan perbandingan air tasik dengan satu siri pencairan larutan kalsium kloroplatinat (K_2PtCl_6) dan hablur kobalt klorida ($CoCl_2 \cdot H_2O$). Ini ialah asas kepada **alat pengukur warna** yang telah diperkenalkan oleh **U.S. Geological Survey** (Rajah 6.4).

Pengukuran warna biasanya boleh dilakukan terus di lapangan. Sekiranya pengukuran tidak dapat dilakukan di lapangan, penganalisan segera perlu dilakukan sebaik sahaja tiba di makmal kerana warna mungkin berubah disebabkan aktiviti biologi di dalam sampel. Selain menggunakan kaedah di atas, warna juga boleh ditentukan di makmal dengan **kaedah tiub Nessler** atau **Hellige Aqua tester**. Mengikut unit platinum-kobalt, tasik yang paling jernih akan mempunyai nilai kosong, manakala tasik yang keruh mempunyai nilai kira-kira 300.

KEJERNIHAN

Kejernihan air boleh diukur dengan menggunakan **cakera Secchi**. Kaedah ini telah direka oleh seorang ahli sains berbangsa Itali yang bernama Secchi pada tahun 1865. Kaedah ini pada asalnya melibatkan penggunaan sekeping cakera putih. Kini cakera ini telah dicat dengan warna putih dan hitam secara selang-seli (Rajah 6.5). Cakera yang mempunyai diameter 20 cm ini diturunkan ke dalam air dengan menggunakan tali. Jarak purata cakera ini hilang daripada pandangan semasa diturunkan dikenali sebagai **nilai kejernihan cakera Secchi**. Kaedah ini masih digunakan pada masa ini kerana begitu mudah dilaksanakan.

Di air yang keruh, nilai kejernihan cakera Secchi sangat rendah, iaitu beberapa sentimeter sahaja. Bagi tasik yang jernih, nilai ini boleh menjangkau melebihi 40 m. Kejernihan cakera Secchi mempunyai kolerasi yang rapat dengan peratusan pemancaran cahaya. Secara amnya, kejernihan cakera Secchi berpadanan dengan kedalaman yang menerima lebih kurang 10 peratus cahaya permukaan.

KEKERUHAN

Kekeruhan bermaksud darjah kelegapan yang terhasil disebabkan kehadiran bahan-bahan zarah yang terampai. Bahan-bahan seperti humus, lumpur,

puing organik. bahan koloid. tumbuhan dan haiwan boleh menyebabkan air menjadi keruh. Bahan-bahan ini mungkin berasal dari luar tasik (**bahan aloktonus**) atau mungkin juga terhasil dari dalam sistem tasik itu sendiri (**bahan autoktonus**). Boleh dikatakan semua jasad air menunjukkan sifat kekeruhan memandangkan persekitaran akuatik secara semula jadi mengandungi bahan terampai. Namun begitu, tahap kekeruhan berbeza-beza bergantung pada jumlah bahan yang menyumbang kepada kekeruhan tersebut.

Bahan yang menyumbang kepada kekeruhan boleh dibahagikan kepada dua kumpulan: **bahan terampai boleh enap** dan **bahan terampai tidak enap**. Bahan terampai yang boleh enap merangkumi segala bahan-bahan di air yang berpotensi untuk mendak terutamanya ketika air tenang. Kadar pendenapan berbeza-beza, ada yang cepat dan ada yang lambat (Jadual 6.2).

Kadar pendenapan ini ditentukan oleh beberapa faktor. Antara faktor ini termasuklah graviti tentu, saiz zarah, nisbah permukaan dan isipadu zarah tersebut. Di samping itu, kelikatan air turut juga mempengaruhi kadar pendenapan. Halaju kejatuhan jasad bulat melalui medium cecair boleh ditentukan dengan **hukum Stokes**. Hukum Stokes diungkapkan seperti berikut:

$$V = \frac{2g (s - s') r}{9\eta}$$

9v

Dengan

V = halaju zarah yang jatuh

g = pecutan kerana graviti

s = graviti tentu jasad

s' = graviti tentu cecair

r = jejari jasad tersebut

v = kelikatan cecair

Sebahagian bahan yang wujud di dalam tasik tidak enap langsung ke bahagian dasar tasik walaupun airnya begitu tenang. **Bahan terampai tidak enap** ini terdiri daripada pepejal yang sangat halus atau bahan-bahan yang mempunyai graviti tentu yang lebih rendah daripada air. Haiwan dan tumbuhan yang mampu mengubahsuai graviti tentu juga termasuk di dalam kumpulan ini.

Bahan-bahan terampai sama ada yang boleh enap atau tidak enap mampu menghalang kemasukan cahaya ke dalam persekitaran akuatik dan seterusnya memberi kesan kepada biota akuatik. Bahan-bahan ini mendatangkan kesan yang baik dan buruk kepada kehidupan akuatik. Kekeruhan yang tinggi memberi perlindungan daripada cahaya berlebihan dan ini menjadikan permukaan air lebih sesuai untuk spesies organisma autotrof yang peka kepada cahaya. Satu lagi kesan baik daripada kekeruhan yang tinggi adalah dari segi perlindungan yang diberi kepada haiwan mangsa daripada pemangsa dan musuh. Keadaan yang keruh menyukarkan haiwan pemangsa mencari makanan.

Disebabkan sebahagian organisma akuatik bergantung pada bahan organik zarah, kesediaan bahan-bahan ini dalam bentuk ampaian membolehkan pemakan detritus mendiami air terbuka dan dalam beberapa hal bebas daripada dasar. Plankton biasanya merupakan unsur terpenting yang menyebabkan air keruh. Kekeruhan yang tinggi yang terhasil daripada

kewujudan plankton yang banyak bermakna bahawa kewujudan bekalan makanan yang banyak untuk pemakan plankton.

Memandangkan bahawa kehadiran bahan terampai boleh mengurangkan pemancaran cahaya, kekeruhan tinggi akan meninggalkan kesan buruk dengan mengehadkan proses fotosintesis. Ini menyebabkan organisma fototrof yang memerlukan cahaya yang mencukupi berkumpul di bahagian atas tasik. Lagipun air yang keruh memperlihatkan suhu yang lebih tinggi daripada air jernih kerana zarah yang membentuk kekeruhan menyerap haba dengan lebih cepat. Peningkatan suhu air ini sedikit sebanyak akan mempengaruhi proses fisiokimia biota akuatik. Salah satu kesan negatif kekeruhan tinggi ialah pengaruhnya terhadap pemakanan ikan pemangsa kerana air yang keruh akan mengganggu aktiviti ikan- ikan yang menggunakan penglihatan untuk mencari makanan. Seperti yang disebutkan, air yang keruh akan menyukarkan kerja-kerja mencari mangsa. Satu lagi kesan negatif kekeruhan tinggi ialah kesan penimbunan hidupan yang tinggal di dasar. Pengenapan bahan-bahan yang menyumbang kepada kekeruhan akan menimbuskan bentos-bentos seperti kerang dan sebagainya. Walaupun beberapa haiwan ini mempunyai mekanisme untuk membuang sedimen pada tubuhnya, namun mekanisme ini tidak dapat berfungsi dengan baik dalam keadaan yang ekstrem.

Kekeruhan bukanlah satu parameter yang sekata kerana sering berubah-ubah dari masa ke masa. Semasa musim hujan, banyak lumpur dan bahan lain yang mampu menyebabkan air keruh boleh dibawa masuk. Ini akan mengubah warna dan kekeruhan tasik. Bahan-bahan ini akan kemudiannya enap ke dasar dan air mulai menjadi jernih kembali.

Kekeruhan boleh diukur dengan beberapa kaedah. **Welch (1948)** telah membincangkan dengan panjang lebar tentang penggunaan beberapa kaedah untuk tujuan ini. **U. S. Geological Survey turbidity rod** merupakan

alat yang sering digunakan dengan meluas (Rajah 6.6). Alat ini murah dan ringan. Satu lagi kelebihan kaedah ini adalah dari segi kemampuannya mengukur kekeruhan air daripada 7- 500 ppm. Namun begitu, rod kekeruhan ini tidak dapat berfungsi dengan baik di air yang terdapat gangguan permukaan (seperti ombak dan arus).

Kekeruhan juga boleh ditentukan dengan menggunakan turbidimeter. Terdapat berbagai-bagai turbidimeter di pasaran tetapi **turbidimeter Jackson** dan **turbidimeter Hellige** ialah alat yang popular (Rajah 6.6). Turbidimeter Jackson boleh digunakan untuk mengukur kekeruhan yang mempunyai nilai lebih daripada 25 ppm. Pada asasnya, kaedah ini melibatkan penentuan kedalaman satu turus cecair keruh yang boleh membuat bayang cahaya lilin hilang dari pandangan penyelidik. Hellige turbidimeter digunakan untuk menentukan kekeruhan air daripada 0- 150 ppm. Kekeruhan yang lebih tinggi boleh ditentukan dengan mencairkan sampel dengan air suling. Kaedah ini begitu berkesan kerana kemampuannya mengukur kekeruhan yang sangat rendah dengan tepat. Pada prinsipnya, kaedah ini melibatkan perbandingan satu sinar cahaya dengan **kesan Tyndall** yang terhasil daripada pendedahan sampel kepada cahaya lateral.

WARNA DAN KEKERUHAN DI SUNGAI

WARNA

Warna di sungai juga ditentukan oleh hukum fizikal yang sama seperti di jasad air yang lain. Ciri-ciri pemancaran, penyerapan dan pantulan cahaya yang diperlihatkan di tasik juga diperlihatkan di persekitaran lotik ini.

Dari segi kelutsinaran, air di bahagian hulu sungai pada amnya lebih jernih jika dibandingkan dengan bahagian hilir. Namun begitu, air sungai kelihatan lebih kehitaman di bahagian hulu yang mempunyai hutan bakau

di tebingnya. Ini berpunca daripada pengumpulan daun dan bahan-bahan aloktonus yang lain di dalam air. Selain itu, warna ketara sungai ditentukan oleh faktor lain seperti pertumbuhan diatom di batu dasaran, pertumbuhan fitoplankton dan bakteria. Pencemaran daripada aktiviti manusia juga bertanggungjawab memberikan warna yang kelihatan. Kegiatan pembalakan dan pembukaan tanah di hulu sungai sudah tentu akan mempengaruhi warna air.

KEKERUHAN

Di hilir sungai, kekeruhan merupakan fenomena biasa untuk kebanyakan sungai. Kekeruhan ini terhasil daripada bebanan lumpur dan zarah halus yang dibawa oleh air sungai. Kekeruhan air kadang-kadang boleh mencapai 3000 ppm dan ini sudah tentu boleh mengurangkan kadar kemasukan cahaya. Kekeruhan yang tinggi ini juga akan menyerap haba dan seterusnya meningkatkan suhu air. Bergantung pada tabii kimia bahan terampai dan saiz zarah, warna air sungai berbeza-beza. Air sungai mungkin kelihatan putih jernih pada satu ekstrem dan warna merah atau coklat pada satu ekstrem lain.

TENAGA TERMA

Tenaga terma merupakan salah satu faktor pengawalatur dan pengehad di dalam ekosistem akuatik. Setiap benda hidup sama ada di air mahupun di daratan, mempunyai julat suhu tertentu untuk hidup. Di dalam julat suhu ini, fisiologi organisma boleh berfungsi dengan lancar. Ada organisma yang boleh hidup pada suhu rendah, manakala organisma yang lain pula memerlukan persekitaran yang lebih panas untuk hidup. Dilaporkan bahawa terdapat beberapa spesies alga dan bakteria yang mempunyai kebolehan dan penyesuaian fisiologi untuk menetap di kawasan air panas yang bersuhu melebihi 90°C. Dalam kedua-dua kumpulan ini, banyak spesies yang boleh hidup dalam julat suhu yang kecil. Spesies stenoterma ini hanya boleh

didedahkan kepada persekitaran yang mengalami perubahan suhu yang kecil. Spesies yang tidak dipengaruhi oleh perubahan suhu dan boleh didedahkan kepada perubahan suhu yang besar dikenali sebagai spesies **euriterma**.

Dari segi suhu, persekitaran akuatik lebih stabil jika dibandingkan dengan persekitaran daratan. Suhu di daratan boleh meningkat sehingga 58°C, manakala suhu di persekitaran akuatik jarang-jarang meningkat sehingga 28°C. Pada amnya, air di permukaan tasik menunjukkan variasi suhu bermusim dan diurnal yang kecil.

Suhu bukan sahaja mempengaruhi jenis dan taburan fauna dan flora habitat akuatik secara langsung, tetapi juga mempengaruhi ciri persekitaran air itu sendiri. Suhu mempengaruhi kualiti air seperti ketumpatan, kelikatan, tegangan permukaan dan kemampuan air untuk menyerap gas dalam larutan. Semua perubahan ini mempunyai kesan yang penting kepada organisma akuatik.

TABURAN HABA

Punca utama haba bagi sesuatu tasik adalah daripada sinar matahari. Selain itu, tasik juga mendapat input haba yang kecil daripada udara dan sedimen. Kawasan daratan juga menyumbangkan tenaga haba pada persekitaran akuatik melalui pemendakan, larian air permukaan dan air bawah tanah. Beberapa tasik terutamanya di kawasan gunung berapi dan kawasan air panas mendapat pemanasan secara tak langsung dan punca bawah tanah ini.

Sinaran terma yang berlaku di permukaan tasik merupakan tapak Jalan utama yang menyebabkan tasik kehilangan haba. Haba juga hilang dan persekitaran akuatik melalui kekonduksian ke udara dan sedimen. Proses sejatan turut bertanggungjawab mengurangkan tenaga haba. Pengaliran

keluar air dari tasik turut membawa haba yang terkandung dan merupakan salah satu cara sistem tasik boleh kehilangan tenaga.

PERLINTAPAN TERMA

Penyerapan tenaga suria dan kehilangannya sebagai haba mempunyai kesan besar terhadap struktur terma. perlintapan jasad dan corak peredaran tasik. Semasa sinar matahari menembusi permukaan tasik. cahaya diserap secara eksponen. Sinar inframerah yang bertanggungjawab terhadap pemanasan air selalunya diserap dengan begitu cepat sekali. Kita mungkin menyangka bahawa keluk suhu secara menegak menyerupai keluk cahaya. Kita akan menjangka bahawa air yang panas dan kurang berat akan bersusun secara turutan di atas air yang lebih sejuk dan lebih berat.

Daripada Rajah 6.7, kita dapati bahawa profil suhu agak berbeza daripada keluk cahaya. Perbezaan ini dapat diterangkan dengan memahami proses percampuran air yang dilakukan oleh angin. Angin bertanggungjawab mencampurkan air di lapisan atas dan mengagihkan haba yang diserap. Dalam keadaan semula jadi. **keluk suhu** yang didapati adalah seperti ditunjukkan dalam Rajah 6.8.

Secara amnya. tasik boleh dibahagikan kepada tiga zon. Zon atas sekali disebut **epilimnion**. Zon ini merupakan lapisan air panas dan percampuran air berlaku dengan bantuan angin dan menyebabkan taburan suhu yang sekata di zon ini. Zon ini juga banyak menerima cahaya dan merupakan zon sintesis bahan organik.

Di bahagian bawah tasik. terdapat satu zon yang gelap, sejuk dan pengaruh angin adalah pada tahap minimum. Zon ini dikenali sebagai **hipolimnion**. Berbeza dengan zon di atasnya. zon ini merupakan **kawasan reputan** kerana kandungan oksigen selalunya rendah.

Kedua-dua zon epilimnion dan hipolimnion dipisahkan oleh satu zon yang dikenali sebagai **termoklin**. Istilah termoklin ini mula-mula diperkenalkan oleh **Birge** pada tahun 1897. Beliau memberi takrif termoklin sebagai zon yang mengalami penurunan suhu sekurang-kurangnya 1°C dengan setiap 1 m pertambahan kedalaman. Termoklin boleh juga dilihat sebagai zon yang mengalami penurunan suhu secara mendadak dengan pertambahan kedalaman. Kadang-kadang dalam penulisan, istilah **metalimnion** turut digunakan¹ untuk menerangkan zon pertengahan ini.

Keadaan **perlintapan terma** yang dikesan ini sangat stabil. Termoklin membentuk satu halangan yang berkesan yang memisahkan epilimnion dan hipolimnion. Arus yang terbentuk oleh angin dan arus perolakan yang terhasil daripada proses penyejukan di permukaan bergerak bebas hanya di epilimnion. Arus ini tidak berupaya menembusi kawasan termoklin. Ini bermakna haba dan nutrien yang wujud dengan banyak di zon epilimnion dihalang daripada bercampur dengan bahagian bawah tasik.

Kehadiran termoklin turut mempengaruhi taburan nutrien di persekitaran akuatik. Sebagai contohnya, kita perhatikan taburan secara menegak untuk silikat, nitrat dan fosfat (Rajah 6.9). Pada am nya, kandungan nutrien ini sangat kurang di zon epilimnion. Penggunaan secara berterusan oleh tumbuhan menerangkan mengapa nutrien ini rendah di kawasan fotik ini. Pada masa pertumbuhan fitoplankton yang pesat, salah satu daripada nutrien ini mungkin tidak mencukupi untuk digunakan oleh organisma fototrof. Nutrien yang kurang ini membentuk apa yang dikenali sebagai **faktor pengehad** kepada pertumbuhan selanjutnya.

Berbeza dengan zon epilimnion, zon hipolimnion tidak menggalakkan fotosintesis. Zon ini lebih merupakan **kawasan penguraian** bahan organik kerana melalui proses-proses ini nutrien dikitar semula ke air sekeliling. Walau bagaimanapun, kewujudan termoklin menyebabkan kelimpahan

nutrien di hipolimnion tidak boleh dimanfaatkan oleh organisma di permukaan.

Di kawasan temperat, perlintapan terma berlaku pada musim panas. Peredaran air hanya berlaku pada musim luruh dan musim bunga. Pada musim ini, halangan ketumpatan yang wujud dipecahkan dan ini membenarkan percampuran air antara zon epilimnion dengan zon hipolimnion.

Bagaimanakah halangan keamatan yang wujud semasa musim panas boleh dipecahkan? Untuk menjelaskan ini, kita lihat perubahan musim di kawasan temperat dan cuba mengaitkan perubahan musim ini dengan sifat suhu-ketumpatan air (Rajah 6.10). Pada musim sejuk, permukaan tasik biasanya dilitupi oleh lapisan ais. Di bawah lapisan ais ini, taburan suhu dari permukaan ke dasar tasik boleh dikatakan seragam kecuali di dasar (Rajah 6.10a). Di bahagian bawah tasik, sedimen akan membebaskan haba dan bertanggungjawab meningkatkan suhu air. Keadaan air yang bahagian dasarnya lebih panas dikenali sebagai **perlintapan songsang**.

Disebabkan sudut matahari yang rendah pada musim ini dan kesan perlindungan oleh salji dan ais, proses fotosintesis terencat. Respirasi organisma dan kadar kemasukan oksigen dari udara yang rendah menjadikan air di zon ini kekurangan oksigen.

Pada awal musim bunga, kedudukan matahari yang lebih tinggi dan waktu siang yang panjang menyebabkan ais mulai mengalami proses pencairan. Di permukaan, air mulai panas sedikit demi sedikit sehingga mencapai 4 °C. Pada suhu ini, air menjadi .1.ebih berat dan mulai turun ke bahagian bawah untuk membentuk arus perolakan. Dengan bantuan angin, air mengalami proses percampuran dan mewujudkan suhu yang seragam pada 4°C sepanjang turus air (Rajah 6.10b).

Dengan berlanjut nya musim bunga, air permukaan menjadi panas dengan cepat, kembang dan menjadi lebih ringan daripada air di bawah. Maka air panas yang lebih ringan

Pemisahan ini semakin nyata dan akhirnya akan membentuk perlintapan terma. Kemuncak kewujudan perlintapan terma adalah pada musim panas apabila termoklin wujud dengan nyata (Rajah 6.10c). Pada musim luruh pula, sudut cahaya semakin berkurangan dan siang semakin pendek dan proses penyejukan berlaku. Tasik kehilangan haba dengan lebih cepat dan menjadikan perbezaan ketumpatan berkurangan. Dengan bantuan arus, air sejuk di permukaan yang kaya dengan oksigen dibawa ke bahagian bawah dan berlaku percampuran air (Rajah 6.10d).

Berbeza dengan keadaan di kawasan temperat, perlintapan terma di kawasan tropika boleh dikatakan kekal sepanjang tahun. Dalam keadaan tertentu sahaja baru berlakunya peredaran air seperti ketika keadaan yang sangat sejuk yang abnormal.

PENGELASAN TASIK BERDASARKAN HABAT

Pada tahun 1957, **Hutchinson** telah cuba mengelaskan tasik kepada beberapa kumpulan berdasarkan ciri haba tasik tersebut. Pengelasan beliau ini mengambil kira faktor altitud, lokasi geografi dan kedalaman basin.

Tasik Amiktik

Tasik ini sentiasa dilitupi oleh ais. Tasik jenis ini sangat jarang-jarang ditemui dan hanya cahaya melalui ais dan juga kekonduksian haba daripada sedimen.

Tasik Monomiktik Sejuk

Tasik jenis ini boleh ditemui di kawasan Artik dan di kawasan pergunungan yang suhu air tidak pernah melebihi 4 °C. Hanya terdapat satu percampuran

air sahaja pada musim panas. Fenomenon ini berlaku pada suhu 4°C atau suhu yang lebih rendah.

Tasik Dwimiktik

Tasik jenis ini dikenali sebagai dwimiktik kerana terdapat dua peredaran setiap tahun, iaitu pada musim luruh dan musim bunga. Tasik dwimiktik menunjukkan perlintapan terma pada musim panas. Pada musim sejuk, wujud perlintapan terma secara songsang apabila lapisan air di dasar lebih panas. Keadaan ini terjadi disebabkan oleh haba yang dibebaskan daripada sedimen. Tasik jenis ini ditemui di kawasan temperat dan di kawasan aras tinggi di subtropika.

Tasik Monomiktik Panas

Bagi tasik ini, suhu air tidak pernah kurang daripada 4 °C. Peredaran berlaku semasa musim sejuk pada suhu 4 °C atau pada suhu yang lebih tinggi; manakala semasa musim panas, tasik ini menunjukkan perlintapan terma. Tasik ini sering ditemui di kawasan panas zon temperat dan juga di kawasan pergunungan subtropika.

Tasik Oligomiktik

Tasik jenis ini ialah tasik yang ditemui di kawasan tropika yang bersuhu melebihi 4 °C. Peredaran air jarang-jarang berlaku di tasik ini. Perlintapan terma di tasik ini adalah stabil.

Tasik Polimiktik

Tasik yang sentiasa mengalami proses percampuran air dikenali sebagai tasik polimiktik. Percampuran atau peredaran air hanya berlaku ketika suhu rendah, selalunya lebih kurang daripada suhu 4 °C. Perlintapan terma tidak wujud disebabkan oleh kehilangan haba yang berterusan daripada

persekitaran ini. Tasik jenis ini boleh ditemui tasik di kawasan pergunungan zon tropika.

TABURAN HABA DI SUNGAI

Di persekitaran lotik, fenomena suhu sangat berbeza daripada persekitaran lentik. Di sungai, perbezaan suhu antara air permukaan dengan air di dasar adalah kecil. Walaupun di sungai yang dalam, suhu air boleh dikatakan sekata pada setiap kedalaman dan perlintapan terma jarang-jarang berlaku.

Bagaimana pula taburan suhu dari hulu sungai ke muara? Bagi kebanyakan sungai, hulu sungai ialah bahagian yang paling sejuk. Di kawasan tropika, purata suhu air di bahagian ini tidak melebihi 25°C. Keadaan sejuk ini terhasil daripada proses penyejukan yang dihasilkan oleh substrat, tumbuhan tebing yang memberi naungan dan kemasukan air sejuk dari anak sungai. Semakin ke hilir, suhu air semakin meningkat. Semakin sungai menghampiri tanah rata, sungai menjadi lebih luas dan lebih dalam. Ini bermakna, lebih banyak air terdedah kepada sinar matahari. Selain itu, kekeruhan yang meningkat ber- tanggungjawab meningkatkan suhu kerana air yang keruh menyerap lebih banyak haba daripada air jernih. Purata suhu di sungai pertengahan selalunya antara 27°C -28°C manakala suhu di muara ialah kira-kira 31°C.

Anak sungai selalunya memperlihatkan variasi suhu yang tinggi terutamanya di kawasan terbuka. Kadang-kadang perbezaan suhu pada waktu malam dan siang boleh mencapai 10°C. Variasi ini wujud disebabkan oleh faktor halaju air, substratum, kedalaman, isipadu, punca air dan faktor teduhan. Sungai besar pula menunjukkan variasi yang kecil. Isipadu air yang banyak dan muatan haba yang tinggi bertindak sebagai penimbal kepada perubahan suhu.

PENGUKURAN

Pengukuran suhu permukaan air boleh dilakukan dengan mudah. Sebarang jenis **termometer** boleh digunakan. Untuk kerja-kerja di lapangan, thermometer yang mempunyai sarung daripada logam perlu diperoleh. Suhu air boleh juga diukur dengan alat elektrik yang mempunyai sensor, contohnya **termistor**. Alat ini mungkin mengandungi alat mencatat (kertas carta jalur) untuk menyusun suhu dengan masa.

Untuk menentukan suhu pada kedalaman yang berbeza, **termometer terbalik** boleh digunakan. Termometer ini diturunkan ke dalam air pada kedalaman yang diperlukan dan diterbalikkan selepas lima minit. Bacaan suhu pada alat ini seterusnya akan menjadi tetap walaupun setibanya di permukaan.

Untuk mencatatkan suhu maksimum dan minimum secara harian, **termometer maksimum-minimum** boleh digunakan. Memandangkan keadaan ketidaksekataan yang disebabkan oleh ombak, alat ini perlu diletakkan di bawah sedikit dari permukaan air supaya sentiasa terendam.

BAB 7

Persekitaran Kimia

Air tulen secara kimia tidak wujud di muka bumi ini dan sekiranya wujud sudah tentu bumi akan menjadi satu **gurun biologi** memandangkan tidak ada satu organisma pun boleh hidup di dalamnya. Dalam Bab 3, kita telah membincangkan kualiti air yang unik terutamanya kemampuan air memegang bahan dalam larutan dan kemampuannya memasuki tindak balas kimia. Kemampuan ini disebabkan oleh ikatan hidrogen lemah yang mengikat molekul air cecair. Molekul air boleh berpisah atau bercantum dengan penggunaan tenaga yang sedikit.

Sifat-sifat ini membolehkan air melarut berbagai-bagai bahan yang datang dari atmosfera, kawasan saliran dan juga dalam sistem itu sendiri. Daripada semua unsur yang wujud secara semula jadi, lebih setengah daripadanya telah dikesan di air tawar atau air masin. Walau bagaimanapun, air semula jadi memperlihatkan perbezaan besar dari segi komposisi kimia sama ada dari segi kuantitatif dan kualitatif. Perbezaan antara satu jasad air dengan jasad air yang lain wujud disebabkan oleh beberapa faktor, terutama sekali faktor hujan, hakisan, larutan, sejatan dan pemendakan. Pada amnya, jasad air yang mempunyai kandungan bahan terlarut yang tinggi juga memperlihatkan penghasilan biologi yang tinggi.

Berbagai-bagai jenis bahan fizikal dan kimia boleh ditemui di dalam sesuatu jasad air: Bahan-bahan ini termasuklah puing. bahan terampai, bahan tak organik terlarut (termasuklah ion kimia), nutrien. logam. bahan organik (daripada tindakan semula jadi dan kegiatan manusia) dan gas terlarut (terutamanya oksigen). Bahan-bahan ini wujud dalam berbagai-bagai bentuk dan kuantiti yang berbeza. Bahan-bahan ini sentiasa menjalani berbagai-bagai bentuk transformasi.

Beberapa gas seperti oksigen dan karbon dioksida merupakan unsur perlu dalam proses respirasi dan fotosintesis. Di samping itu, ada juga gas yang boleh memudaratkan biota akuatik. Unsur yang membentuk nutrien pula memainkan peranan yang penting dalam penentuan tahap trofik dan hayat tasik. Kadar pengeutrofikatan bergantung pada kepekatan nutrien ini. Dalam konteks ini. nutrien yang dimaksudkan termasuklah fosforus, nitrogen, karbon dan silika. Pertumbuhan tumbuhan akuatik kerap kali dihadkan oleh kesediaan satu atau lebih nutrien ini. Sekiranya bekalan salah satu nutrien ini berkurangan, maka penghasilan biologi jasad air dikurangkan. Pada sudut lain, sekiranya kesemua nutrien ini wujud dengan begitu banyak, penghasilan secara berlebihan boleh berlaku. Keadaan ini boleh

menggalakkan pertumbuhan tumbuhan air hingga mencapai peringkat menjadi **rumpai**. Nutrien yang banyak ini boleh juga menggalakkan fenomena **kembangan alga** di jasad akuatik. Langkah kawalan pada kebiasaannya melibatkan pengurangan input nutrien. Di kawasan temperat, fosforus merupakan nutrien pengehad yang biasa. Pengawalan kemasukannya ke sistem air didapati dapat mengawal perkembangan biologi. Di zon tropika, suhu lebih tinggi dan nitrogen tak organik kerap kali ditemui sebagai faktor pengehad. Silika dan karbon pada amnya wujud dengan banyak dan jarang-jarang menjadi nutrien pengehad di sistem air. Jadual 7.1 menunjukkan purata komposisi kimia yang ditemui di sungai di dunia.

PEPEJAL DALAM LARUTAN DI SISTEM AKUATIK

Dalam keadaan semula jadi, sebatian kalsium, magnesium natrium, kalium, nitrogen, fosforus, besi, sulfur dan silika merupakan pepejal terlarut yang paling penting. Sebatian ini kerap membentuk faktor pengehad kepada pertumbuhan flora akuatik.

NITROGEN

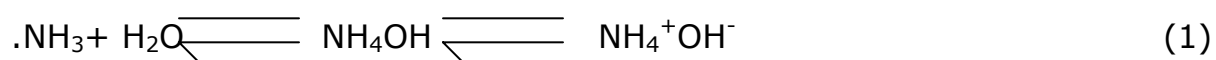
Nitrogen merupakan nadi kepada semua ekosistem kerana peranannya dalam sintesis dan penyenggaraan protein. Nitrogen wujud di ekosistem akuatik dalam beberapa bentuk (Rajah 7.1). Nitrogen boleh wujud sebagai gas atau dalam bentuk bergabung (ammonia, nitrat, urea atau sebatian organik terlarut).

Nitrogen nitrat pada amnya merupakan bentuk bergabung nitrogen tak organik yang paling biasa wujud di ekosistem sungai atau tasik. Sebatian ini merupakan punca nitrogen utama untuk tumbuhan di persekitaran ini. Input utama nitrat di tasik dan sungai adalah daripada hujan dan air larian. Kepekatan dan kadar bekalan nitrat mempunyai hubungan rapat dengan

penggunaan tanah di sekeliling jasad air. Tidak seperti ion fosfat atau ammonium yang dipegang oleh cas zarah tanah, ion nitrat dengan mudah boleh bergerak bebas dan boleh hilang dari tanah. Gangguan persekitaran walaupun pada peringkat sederhana (pembangunan tanah untuk pertanian dan kegiatan pembalakan) boleh menyumbangkan kepekatan nitrat yang tinggi ke dalam sungai.

Apabila wujud dalam kuantiti mencukupi, **ammonia** lebih digemari untuk pertumbuhan tumbuhan. Ini memandangkan penggunaan nitrat memerlukan tenaga tambahan dan juga enzim nitrat reduktase. Ammonia wujud di sistem akuatik terutamanya sebagai ion NH_4^+ yang bercerai (ammonium). Ammonia ialah sebatian yang lebih aktif daripada nitrat kerana mengandungi tenaga kimia yang lebih tinggi dalam struktur molekul nya. Berbanding dengan nitrat, ammonia berbeza dari segi ketoksikan dan kemampuannya dipegang oleh butiran tanah. Pada aras pH tinggi, ammonia boleh menjadi bahan toksik kepada haiwan dan tumbuhan. Ketoksikan nya kepada biota bergantung pada spesies dan juga peringkat umur organisma yang terlibat.

Fenomenon ketoksikan ini terjadi apabila ammonia wujud dalam bentuk ammonium hidroksida. Gas ammonium (NH_3) boleh melarut dengan mudah dalam air dan membentuk ammonium hidroksida (NH_4OH), yang kemudian bercerai kepada ion ammonium (NH_4^+) dan ion hidroksil (OH^-) seperti berikut:



Perseimbangan tindak balas di atas menghala ke kanan pada pH 7 dan suhu 25°C dan

hanya 0.55 peratus jumlah nitrogen wujud sebagai NH_4OH . Dalam keadaan berasid, peratusan NH_4OH berkurangan, manakala peratusan NH_4OH meningkat dalam keadaan alkalin. NH_4OH yang tidak bercerai sangat toksik,

manakala ion NH_4^+ tidak toksik. Ketoksikan ammonium hidroksida dipengaruhi bukan sahaja oleh pH tetapi juga oleh suhu, oksigen terlarut, kekerasan dan kandungan garam.

Kandungan ammonia di sistem air pada sesuatu masa bergantung pada imbangan antara kadar rembesan haiwan, pengambilan oleh fitoplankton dan juga kadar pengoksidaan bakteria. Ammonia merupakan hasil buangan metabolisme haiwan. Di samping itu, ion ammonium digunakan dengan cepat oleh fitoplankton dan tumbuhan akuatik yang lain. Ini menjadikan kepekataannya di air kekal rendah (kurang daripada 0.1 mg per liter).

Ammonia boleh ditukar kepada bentuk ion nitrit (NO_2^-) oleh beberapa bakteria penitritan seperti *Nitrosomonas*. Dalam proses ini, tenaga dibebaskan dan bakteria akan menggunakan tenaga ini untuk mensintesis karbohidrat. Pada amnya, **nitrogen nitrit** wujud dalam kuantiti yang sangat kecil. Melalui proses pengoksidaan, nitrit boleh ditukar kepada nitrat dengan bantuan bakteria penitritan seperti *Nitrobacter*. Seperti yang telah disebutkan, nitrat ialah bentuk nitrogen yang paling mudah diambil oleh tumbuhan.

Dalam kitaran nitrogen, atmosfera merupakan kolam utama nitrogen (Rajah 7.1). Namun begitu, **gas nitrogen** tidak digunakan oleh kebanyakan organisma. Tenaga yang banyak diperlukan untuk memecahkan $\text{N} \equiv \text{N}$ ikatan ganda tiga. Maka, nitrogen perlu ditukarkan kepada sebatian nitrogen lain sebelum dapat dikitar di dalam ekosistem. Penukaran ini dilaksanakan oleh bakteria dan alga biru-hijau yang mempunyai **heterosista** melalui proses yang dikenali sebagai pengikatan nitrogen. Nitrogen akan diikat kepada bentuk ammonium dengan bantuan enzim **nitrogenase**. Nitrogenase disintesis dalam semua sel alga, tetapi paling aktif di dalam heterosista. *Aphanizomenon*, *Nostoc*, *Anabaena*, *Nodularia* dan *Gloeotrichia* merupakan beberapa genus alga biru-hijau yang mampu mengikat nitrogen di tasik dan

sungai. Walaupun pengikatan nitrogen bukanlah fenomena sejagat dalam tasik, namun proses ini sangat penting kerana merupakan punca utama nitrogen baru yang boleh digunakan oleh tumbuhan.

Proses **pendenitritan** merupakan proses yang mengembalikan semula nitrogen gas ke udara. Nitrat yang terkumpul di dasar jasad air boleh ditukar kepada gas nitrogen oleh bakteria. Tindakan ini membolehkan bakteria tersebut mendapat oksigen daripada nitrat untuk kegunaan respirasi pada aras oksigen yang rendah. Kandungan oksigen yang rendah boleh ditemui di sedimen dasar dan zon hipolimnion.

Selain daripada bentuk tak organik, semua jasad air juga mengandungi **nitrogen organik zarah dan terlarut** yang terkandung dalam jasad haiwan dan tumbuhan. Termasuk dalam golongan ini ialah bentuk urea, protein dan juga asid humik. Nitrogen dalam bentuk ini pada amnya tidak boleh digunakan oleh kebanyakan organisma sehinggalah diubah oleh bakteria dan kulat. Di tasik, **nitrogen organik zarah** mendak ke dasar untuk membentuk sinka nitrogen yang utama.

PENGUKURAN

Kepekatan nitrat, nitrit, ammonia dan nitrogen organik boleh dianggarkan melalui analisis kimia. Kepekatan sebatian tak organik yang tinggi boleh diukur dengan menggunakan elektrod ion yang tertentu. Nitrogen organik pula boleh diukur dengan **penganalisis automatik**.

FOSFORUS

Walaupun unsur ini diperlukan dalam jumlah yang kecil, namun fosforus merupakan salah satu unsur yang boleh mengehadkan pertumbuhan fitoplankton. Ini terjadi memandangkan fitoplankton dan tumbuhan autotrof lain hanya boleh menggunakan fosforus dalam bentuk fosfat (PO_4). Tidak

seperti nitrat, fosfat diserap serta dipegang kuat oleh zarah tanah dan tidak mudah digerakkan oleh **air bawah tanah**. Walau bagaimanapun, fosforus boleh memasuki sistem akuatik melalui proses hakisan terutamanya daripada lereng curam. Kegiatan pertanian dan kegiatan domestik turut menyumbangkan fosfat terlarut. Kemasukan fosfat secara berlebihan boleh membawa kepada keadaan **eutrofi**.

KITARAN FOSFORUS

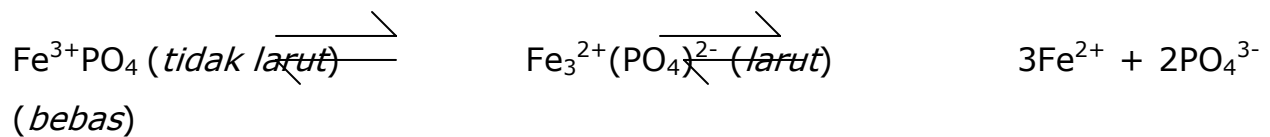
Boleh dikatakan semua fosforus di sistem akuatik wujud sebagai **fosforus organik** dalam biojisim hidup atau mati. Sebahagian kecil daripada fosforus organik ini dikumuhkan sebagai **fosforus organik terlarut (DOP)**. Fosfat tak organik pula kebanyakannya boleh wujud dalam bentuk ortofosfat (PO_4^{3-}). Ada juga yang wujud sebagai monofosfat (HPO_4^{2-}) dan dihidrogen fosfat (H_3PO_4^-).

Aras fosfat di kebanyakan tasik adalah rendah. Fosfat yang memasuki sistem akuatik akan diambil oleh bakteria, alga dan makrofit akuatik. Ini membentuk fosforus organik dalam biojisim organisma tersebut (Rajah 7.2): Organisma ini berkemampuan mengumuhkan berbagai-bagai sebatian fosforus organik terlarut yang mempunyai berat molekul yang rendah (P-Xi). Sebatian P-X ini ditukar kepada sebatian fosforus koloid yang mempunyai berat molekul yang tinggi. Sebatian ini seterusnya ditukarkan kepada fosfat yang boleh digunakan secara langsung oleh tumbuhan. Fosfat juga boleh memasuki sistem akuatik dari persekitaran daratan dan juga melalui proses pereputan dan perkumuhan tumbuhan atau haiwan.

Selain daripada menghasilkan fosfat, proses pereputan dan perkumuhan juga bertanggungjawab membebaskan beberapa bentuk **fosforus organik terlarut (DOP)**. DOP ini boleh diuraikan kepada bentuk fosfat oleh enzim **fosfatase alkalin** yang dirembeskan oleh kebanyakan tumbuhan.

Sedimen membentuk sinka fosforus utama. Bahan-bahan yang mengandungi fosforus bertumpuk di dasar tasik melalui proses pemendakan biota dan pemendakan kimia (terutamanya sebagai $\text{Fe}^{3+} \text{PO}_4$). Detritivor seperti larva serangga dan cacing dapat menggunakan bahan-bahan ini sebagai sumber makanan dan pada masa yang sama mengitarkan kembali sebahagian daripada fosforus ke air lepas.

Oksigen memainkan peranan penting dalam mengawal kadar pembebasan fosforus daripada sedimen ke zon eufotik. Apabila interfasa sedimen-air menjadi anoksik, fosfat dibebaskan dengan cepat ke bahagian atas tasik. Tindak balas pembebasan fosfat adalah seperti berikut:



KALIUM

Perbezaan besar antara kadar perkembangan tumbuhan daratan dengan fitoplankton bersangkutan dengan keperluan yang berbeza. Secara amnya, tanah pertanian dibaja dengan sejumlah besar nitrogen, fosforus dan kalium. Bagi kolam ikan, hanya nitrogen dan fosforus diperlukan. Keperluan kalium tidak begitu tinggi untuk kebanyakan organisma autotrof akuatik. Kepekatan yang rendah sudah cukup untuk merangsang penghasilan yang tinggi.

Kalium diperlukan oleh semua sel terutama sekali sebagai pengaktif enzim. Kuantiti yang besar boleh ditemui di dalam sel biota akuatik daripada yang ditemui di persekitaran. Disebabkan habitat akuatik mengandungi kepekatan kalium yang rendah, membran sel perlu mengepam kalium secara berterusan dan mengepam natrium keluar. Proses ini memerlukan penggunaan tenaga yang besar.

NATRIUM

Natrium merupakan salah satu unsur yang paling banyak. Garamnya sangat larut dalam air dan menyebabkannya wujud dalam kebanyakan jasad air. Nisbah natrium dengan jumlah kation sangat penting dari segi pertanian dan juga kesihatan manusia. Kandungan natrium yang tinggi di air pertanian menimbulkan masalah besar kerana dapat mempengaruhi struktur tanah, kadar penyusupan dan juga kadar ketelapan. Kehadirannya yang tinggi di dalam tanah mengurangkan pergerakan air dan mempengaruhi pertumbuhan tanaman pertanian.

Dalam pertanian, **nisbah penyerapan natrium (SAR)** di dalam sistem pengairan perlu ditentukan. Nisbah penyerapan natrium yang diungkapkan dalam meq, boleh ditakrifkan: sebagai:

$$\frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} / 2}$$

Air yang mempunyai nilai SAR yang tinggi tidak boleh digunakan dalam pertanian kerana boleh merosakkan struktur tanah.

Natrium selalunya diukur dengan **kaedah fotometri cahaya** atau **kaedah gravimetri**. Sampel biasanya disimpan dalam botol polietilena untuk menghalang natrium larut lesap daripada kaca.

KALSIUM

Unsur ini perlu untuk proses metabolisme semua organisma hidup dan juga sebatian bahan struktur atau rangka. Boleh dikatakan semua vertebrat, moluska dan beberapa invertebrat memerlukan kuantiti CaCO_3 yang besar sebagai bahan utama rangka. Selain itu, terdapat beberapa spesies alga menggunakan CaCO_3 dalam pembentukan dinding sel.

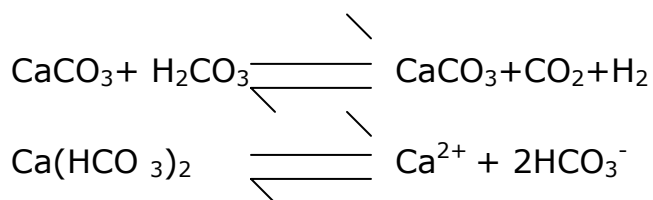
Kalsium dan magnesium mempunyai tindakan kimia yang serupa terutama sekali dalam pembentukan garam karbonat. Antara kedua-dua ion ini, kalsium wujud lebih banyak di habitat akuatik. Bagi air liat, kalsium menyumbang 53 peratus, manakala magnesium menyumbang 34 peratus daripada keseluruhan kation. Punca kalsium adalah daripada proses pelarut lesapan terutama sekali dari kawasan mendapan batu kapur, dolomit dan gips.

Berdasarkan kandungan kalsium, jasad air boleh dikelaskan kepada tiga kumpulan: _____

< 10 mg Ca/l	Oligotrofi
10 hingga 25 mg Ca/l	Mesotrofi
> 25 mg Ca/l	Eutrofi

Kalsium memainkan peranan penting melalui kesannya terhadap pH dan sistem CO_2 - HCO_3^- . Kalsium wujud dalam bentuk ion dan sebagai zarah terampai, terutama sekali sebagai CaCO_3 . Garam kalsium merupakan punca utama air liat.

Hujan mengandungi asid karbonik yang lemah. Asid ini boleh dineutralkan apabila menempuhi kawasan batu karbonat (seperti batu kapur). Tindakan peneutralan boleh digambarkan seperti berikut:



Beberapa spesies alga dan tumbuhan peringkat tinggi diketahui mampu memendakkan batu kapur semasa proses mendapatkan karbon dioksida semasa fotosintesis. Dalam beberapa tumbuhan ini, karbon dioksida diambil

secara langsung daripada bikarbonat selepas kandungan karbon dioksida bebas telah kehabisan.

Elodea dan *Potamogeton* (tumbuhan peringkat tinggi) kerap kali mempunyai selaput kapur di permukaan tumbuhan ini. *Elodea* didapati boleh memendakkan 2 kg CaCO_3 dalam sehari apabila didedahkan kepada 10 jam cahaya matahari. Alga hijau seperti *Chara* dan *Cladophora* juga boleh membentuk kuantiti kapur yang besar.

MAGNESIUM

Magnesium selalunya didapati daripada proses pelarut lesapan batu igneus dan karbonat. Unsur ini selalunya dikaitkan dengan keliatan yang sama seperti kalsium. Namun begitu, kepekatan ion magnesium pada amnya lebih rendah daripada kepekatan ion kalsium memandangkan komponennya *penting* dalam molekul klorofil.

Unsur ini biasa ditemui di sistem akuatik dalam jumlah yang besar. Ini bermakna, magnesium tidak memainkan peranan penting dalam mengehadkan pertumbuhan dan taburan haiwan atau tumbuhan di air.

KELIATAN SELURUH

Keliatan seluruh air terdiri daripada kation logam alkali terutama sekali ion kalsium dan magnesium. Kuantiti kalsium dan magnesium yang terikat kepada karbonat serta bikarbonat dikenali sebagai **keliatan karbonat** dan selalunya diungkapkan sebagai ppm CaCO_3 . **Keliatan seluruh** merupakan jumlah keliatan karbonat dan **keliatan bukan karbonat**. Keliatan bukan karbonat disebabkan oleh sulfat atau klorida logam alkali.

Dalam keadaan semula jadi, ion kalsium dan magnesium memasuki jasad air melalui proses saling tindakan asid karbonik terlarut dengan mineral karbonat. Proses mikrob juga menghasilkan ion-ion ini.

Keliatan seluruh boleh ditentukan dengan kaedah penitratan piawai dengan menggunakan garam natrium asid etilenadiaminatetraasetik (EDT A) dan Edichrome. Black T. Teknik penyerapan atom juga boleh digunakan.

SILIKON

Lebih daripada 60% batu dan tanah yang wujud di bumi terdiri daripada silikon dioksida (SiO_2). Bentuk silikon yang menarik minat ahli limnologi ialah silika terlarut. Ini adalah kerana silika diperlukan untuk membentuk frustul (dinding) diatom.

Perkembangan diatom seperti *Tabellaria*, *Asterionella* dan *Melosira* bergantung pada bekalan silika yang mencukupi di sistem air. Semasa penghasilan maksimum diatom, jumlah silika boleh menurun begitu rendah sehingga merencat perkembangan selanjutnya.

Frustul diatom yang mati akan mendak di dasar tasik. Sebahagian daripada silika akan dilarutkan dan dikitarkan semula (Rajah 7.3).

LOGAM DAN BAHAN CEMAR

Logam seperti kuprum, zink, plumbum, aluminium, nikel, kadmium, strontium, vanadium, sulfur, raksa dan asbestos boleh menjadi toksik kepada ekosistem akuatik atau mungkin terkumpul dalam rantai makanan apabila wujud dalam air melebihi aras yang dibenarkan. Unsur ini boleh wujud dalam air secara semula jadi ataupun berpunca daripada buangan industri, perbandaran, pertanian dan perlombongan.

Tasik juga mungkin mengandungi berbagai-bagai bahan organik yang kompleks seperti fenol, lignin, serat, racun makhluk perosak, bifenol poliklorin (*polychlorinated biphenyl*. PCB) dan petroleum hidrokarbon yang berasal terutamanya daripada kegiatan manusia. Bahan-bahan ini

mempunyai kesan buruk terhadap kehidupan biologi. Dalam keadaan semula jadi, kepekatan bahan-bahan cemar ini rendah.

GAS TERLARUT

OKSIGEN

Daripada semua bahan kimia yang wujud dalam air semula jadi, oksigen merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan kesejahteraan jasad air. Oksigen diperlukan dalam penghasilan dan menyokong kehidupan biologi. Oksigen digunakan untuk proses respirasi tumbuhan dan haiwan, pereputan bakteria terhadap bahan organik dan juga pengoksidaan kimia bahan buangan. Oksigen menjadi **faktor penentu** dalam kitaran organik di persekitaran akuatik.

Oksigen boleh larut dengan mudah dalam air. Isipadu oksigen terlarut dalam air pada sesuatu masa bergantung pada suhu air, tekanan atmosfera, kepekatan garam terlarut dalam air dan juga aktiviti biologi. Kelarutan oksigen dalam air boleh ditingkatkan dengan merendahkan suhu. Sebagai contohnya, kelarutan meningkat lebih daripada 40 peratus semasa air tawar mengalami penyejukan daripada 25°C ke 0°C (Jadua 17.2).

Kelarutan oksigen mempunyai hubungan terus dengan tekanan atmosfera dan kandungan garam terlarut. Pada tekanan atmosfera normal, kadar kelarutan oksigen dalam air ialah antara 14.5 mg/l pada 0°C hingga 7.8 mg/l pada 30°C. Kepekatan oksigen terlarut boleh diungkapkan dalam miligram per liter (mg/l), mililiter per liter (ml/l) atau sebagai peratusan ketepuan. **Kaedah iodometrik Winkler** merupakan teknik pengukuran oksigen terlarut yang digunakan secara meluas. Teknik ini berdasarkan tindak balas oksigen terlarut dengan hidrosil mangan bivalen. **Kaedah polarografik** dan **kaedah potentiometrik** juga kerap digunakan.

Kandungan oksigen dalam air bergantung pada beberapa proses fizikal, kimia, biologi dan mikrobiologi. Punca utama oksigen di persekitaran akuatik ialah dari atmosfera. Oksigen menyerap masuk di permukaan tasik melalui interfasa udara-air dan kemudiannya diselerakkan ke seluruh jasad air oleh angin, tindakan ombak dan percampuran menegak. Peningkatan ombak dan sebarang gangguan di permukaan air boleh membantu kemasukan gas oksigen ke dalam air. Di samping itu, tekanan atmosfera dan kandungan kelembapan yang rendah turut mencepatkan kadar kemasukan.

Satu lagi punca utama oksigen adalah daripada proses fotosintesis yang boleh diungkapkan sebagai:



Karbon dioksida dan air bertindak secara kimia dengan kehadiran cahaya untuk menghasilkan gula dan oksigen. Oksigen ini menjadi larut dalam air dan memasuki kitaran organik. Kerap kali apabila tasik begitu tenang, fotosintesis merupakan punca utama oksigen. Fotosintesis merupakan punca oksigen yang penting di tasik tropika yang mempunyai musim panas terik yang panjang.

Disebabkan oksigen lebih larut dalam air sejuk daripada air panas, tasik di zon temperat melarut lebih banyak oksigen pada musim sejuk jika dibandingkan pada musim panas. Semasa musim sejuk, perlintasan termal hampir tiada dan percampuran menegak berlaku secara maksimum. Keseluruhan tasik mempunyai bekalan oksigen yang melimpah. Pada musim panas, kehadiran termoklin tidak membenarkan lapisan hipolimnion menerima oksigen tambahan dari atmosfera. Maka, oksigen di lapisan ini berkurangan atau habis langsung bergantung pada kuantiti bahan reput di dasar.

Tasik tropika tidak mempunyai peluang untuk pemulihan bekalan oksigen seperti yang berlaku di kawasan temperat kerana suhu airnya tinggi sepanjang tahun. Tasik ini bergantung pada musim sejuk yang abnormal dan juga penyejukan pada waktu malam. Disebabkan keadaan ini, tasik di tropika biasanya memperlihatkan keadaan anoksik di bahagian bawah tasik. Disebabkan oleh tempoh panas terik yang panjang, tasik tropika menerima bekalan oksigen yang signifikan melalui fotosintesis, tetapi oksigen ini tidak dapat disebarkan secara sekata disebabkan percampuran air yang terhad.

Pengukuran oksigen terlarut memberikan maklumat tentang tahap pencemaran dan juga untuk penentuan penghasilan bersih dan kasar. Kepekatan oksigen terlarut yang rendah pada amnya menandakan kewujudan bahan cemar organik. Pada kebiasaannya, kekurangan oksigen di tasik dapat dikesan lebih awal di zon hipolimnion.

JENIS KELUK OKSIGEN KEDALAMAN

Pada amnya, empat jenis taburan oksigen di tasik boleh dikenali (Rajah 7.4). Dalam air yang mempunyai penghasilan rendah, taburan oksigen bergantung pada suhu. Tasik oligotrofi ini pada airnya jernih dan mempunyai kekeruhan rendah. Memandangkan pemancaran cahaya tinggi, zon eufotik boleh menjangkau jauh ke bawah. Kadar pengoksidaan adalah rendah di zon hipolimnion disebabkan oleh penghasilan yang rendah. Ini menghasilkan taburan **ortograd** yang memperlihatkan peningkatan oksigen di bahagian bawah tasik ini (Rajah 7.4).

Bagi tasik eutrofi pula, kekurangan oksigen mungkin boleh berlaku di zon hipolimnion. Kehilangan oksigen di bahagian bawah tasik disebabkan oleh faktor suhu dan pengoksidaan bahan organik. Kadar pereputan bergantung pada isipadu bahan organik yang tiba terutamanya dari zon atas tasik. Taburan oksigen sedemikian dikenali sebagai **klinograd**. Bagi tasik ini,

kandungan oksigen yang lebih tinggi berpunca daripada proses fotosintesis boleh didapati di zon epilimnion.

Keluk oksigen heterograd memperlihatkan lereng tidak sekata dari permukaan ke bahagian bawah tasik. Taburan oksigen secara **heterograd negatif** terhasil dengan kehadiran haiwan yang banyak di kedalaman pelengahan tasik. Kadar respirasi yang tinggi menghasilkan lapisan oksigen yang rendah. Taburan **heterograd positif** pula terhasil apabila organisma fototrof menduduki kedalaman tertentu. Ini menjadikan kandungan oksigen di kedalaman tersebut lebih tinggi daripada lapisan air di atas mahupun lapisan air di bawah.

KARBON DIOKSIDA

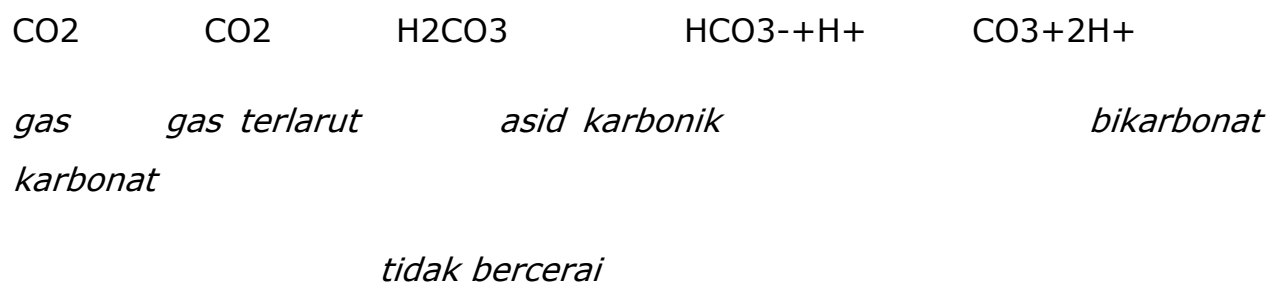
Tiga peranan besar dimainkan oleh karbon dioksida dalam menentukan kesesuaian air semula jadi sebagai satu persekitaran. Karbon dioksida bertindak sebagai penimbal terhadap sebarang perubahan keasidan dan kealkalian secara mendadak. Kemampuan gas ini bergabung dengan air untuk membentuk asid bertindak menstabilkan persekitaran akuatik. Karbon dioksida juga penting dalam mengawal atur proses biologi komuniti akuatik kerana pertumbuhan dan haiwan ditentukan oleh kepekatan gas ini. Sumbangan karbon dioksida yang paling utama ialah unsur karbon yang dikandunginya. Disebabkan oleh struktur nukleusnya, karbon merupakan salah satu unsur yang sangat versatil dan membolehkannya bergabung dengan unsur lain untuk membentuk berbagai-bagai jenis sebatian. Karbon dioksida dan air membekalkan karbon, hidrogen dan oksigen yang merupakan komponen utama protoplas.

Pada amnya, karbon dioksida lebih larut daripada oksigen. Pada suhu 20°C dan tekanan atmosfera 760 mmHg, air yang berada dalam keadaan keseimbangan dengan karbon dioksida mengandungi lebih kurang 0.88

isipadu gas. Dalam keadaan serupa, hanya 0.031 isipadu oksigen terkandung dalam air. Walaupun udara mengandungi lebih 700 kali . ganda oksigen daripada karbon dioksida (dari segi isipadu), perkadaran air pada keseimbangan lebih kurang sama, lebih kurang 4 ml karbon dioksida per liter jika dibandingkan dengan 6 ml oksigen per liter.

Dalam keadaan semula jadi, karbon dioksida diperoleh daripada beberapa sumber. Penguraian bakteria terhadap bahan organik di zon trofolitik dan proses respirasi oleh haiwan dan tumbuhan menyumbangkan sebahagian daripada bekalan karbon dioksida. Air bawah tanah turut juga membawa bekalan karbon dioksida ke jasad air. Di dalam sistem air itu sendiri, terdapat beberapa tindak balas kimia antara asid dengan sebatian karbonat yang membebaskan karbon dioksida. Atmosfera juga membekalkan gas ini secara langsung. Air hujan juga merupakan pembekal utama karbon dioksida melalui tindakan pemelarutannya semasa turun ke bumi.

Gas karbon dioksida boleh larut dalam air untuk membentuk karbon dioksida larut. Tindakannya dengan air menghasilkan asid karbonik yang tidak bercerai (H_2CO_3) yang kemudiannya bercerai dan berseimbangan sebagai bikarbonat (HCO_3^-) dan karbonat (CO_3^{2-}) mengikut persamaan berikut:



Kebanyakan tumbuhan hanya menggunakan CO_2 untuk fotosintesis.. Memandang-kan CO_2 boleh dibekalkan melalui proses penyerapan daripada air atau HCO_3^- atau CO_3^{2-} -(persamaan 1), maka bekalan karbon untuk pertumbuhan tidak boleh habis.

SISTEM ASID KARBONIK, BIKARBONAT, KARBONAT DAN pH

Nilai pH ialah ukuran aktiviti ion hidrogen dan merupakan logaritma salingan kepada kepekatan ion hidrogen. Secara matematik, pH boleh diungkapkan sebagai:

$$pH = -\log (H^+)$$

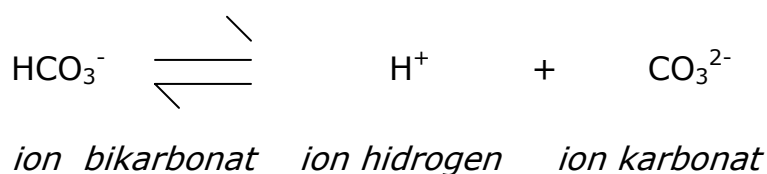
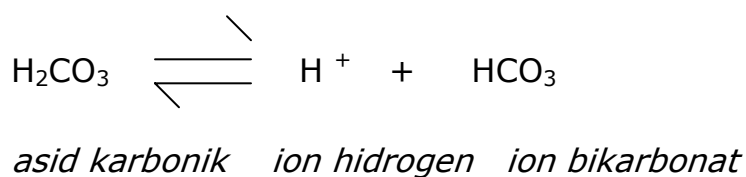
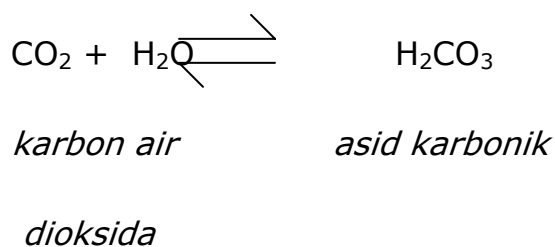
dengan (H) ialah jumlah ion hidrogen dalam larutan dan diungkapkan dalam mol per liter. Dalam satu liter air tulen, terdapat 0.0000001 mol/ion hidrogen. Jadi, pH air tulen ialah

$$pH = -\log 0.0000001 \text{ atau } 7$$

Bagi larutan yang mempunyai pH rendah, kepekatan hidrogennya tinggi. Oleh itu, larutan ini bersifat asid. Bagi larutan yang mempunyai nilai pH tinggi, kepekatan ion hidrogennya rendah dan larutan ini bersifat alkali.

Dalam keadaan semula jadi, nilai pH air permukaan selalunya antara 4.0 hingga 9.0. Penyimpangan daripada pH 7 (neutral) terhasil daripada saling tindak asid/bes beberapa komponen mineral dan organik. Bagi air tulen, nilai pH ditentukan terutamanya oleh hubungan antara kepekatan karbon dioksida bebas, bikarbonat dan ion karbonat. Seperti yang telah dibincangkan, CO₂ bergabung dengan air untuk menghasilkan asid karbonik (H₂CO₃) yang lemah. Pada kebiasaannya, asid karbonik berceraai untuk membentuk ion hidrogen (H⁺) dan ion bikarbonat (HCO₃⁻) atau dua ion H⁺

dan satu ion karbonat (CO_3^{2-}). Tindak balas ini boleh. diringkas seperti berikut:



Anak panah yang menghala ke arah yang bertentangan menunjukkan bahawa setiap tindak balas boleh dibalikkan, sama ada menghasilkan ion hidrogen atau mengurangkan ion ; hidrogen. Sistem asid karbonik-bikarbonat-karbonat ini berfungsi untuk menimbai atau mengehadkan perubahan pH air. Sekiranya ion H^+ berlebihan wujud, tindak balas di atas akan menghala ke kiri, mengalihkan ion hidrogen daripada larutan. Sekiranya terlalu sedikit ion hidrogen wujud, lebih banyak akan disediakan melalui pertukaran asid karbonik kepada bikarbonat, dan bikarbonat kepada karbonat.

Hubungan ini seterusnya bergantung pada proses fotosintesis dan pengoksidaan biokimia bahan-bahan organik. Penukaran beberapa bahan mineral secara kimia (contohnya pengoksidaan besi ferum) juga

mempengaruhi nilai pH. Selain daripada kepentingannya dalam menentukan kualiti air, nilai pH juga memberi maklumat tambahan dalam menjelaskan beberapa ciri-ciri kualiti air lain seperti asid karbonik bebas dan hidrogen sulfida bebas.

Memandangkan nilai pH ditentukan oleh saling tindak beberapa bahan di dalam air, pengukurannya mestilah dibuat sebaik sahaja sampel diambil. Sampel tidak boleh diawet untuk tujuan penganalisan di makmal. Penentuan pH dilakukan sama ada secara **kolorimetri** atau **potentiometri**. Berbagai-bagai meter pH boleh digunakan untuk mengukur nilai pH secara potentiometri. Meter ini dilengkapi dengan elektrod kaca yang memerlukan piawaian dengan menggunakan larutan penimbal piawai setiap kali pengukuran hendak dijalankan di lapangan. Kaedah kolorimetri melibatkan perbandingan penunjuk piawai dan larutan penimbal. Kedua-dua kaedah ini mempunyai kebaikan masing-masing. Kaedah potentiometri pada amnya lebih tepat kerana membolehkan pengukuran dengan kesilapan 0.05 hingga 0.02 nilai pH. Kaedah kolorimetri memberikan keputusan yang kurang tepat kerana kesilapan ialah 0.1 daripada unit pH. Penggunaannya pula terhadap kepada air yang kandungan bahan . berwarna rendah. Walau bagaimanapun, kaedah ini lebih mudah dan tidak memerlukan ;i alat tertentu.

KOMPONEN KESEIMBANGAN KARBONAT

Komponen keseimbangan karbonat dalam air wujud dalam tiga bentuk: karbon dioksida "~ yang tidak berceraai (CO_2 terlarut bebas dan asid karbonik yang berceraai lemah), ion bikarbonat (HCO_3^-) dan ion karbonat (CO_3^{2-}). Hubungan antara kepekatan ketiga-tiga bentuk ini bergantung pada pH air (Rajah 7.5). Apabila nilai pH ialah 4.5 atau lebih rendah, air mengandungi hanya asid karbonik bebas. Apabila nilai pH ialah 8.4 atau lebih tinggi, kandungan asid karbonik tidak penting.

Kepekatan asid bebas bergantung pada beberapa faktor. Bagi air bersih, kandungan asid karbonik bebas dipengaruhi oleh proses biokimia seperti fotosintesis (yang menyebabkan kandungan asid karbonik menurun, manakala pH meningkat) dan pernafasan (yang menyebabkan peningkatan kepekatan asid karbonik dan penurunan nilai pH).

KEASIDAN

Keasidan air boleh ditakrifkan sebagai kemampuan air untuk menderma proton atau bertindak dengan bes. Nilai keasidan boleh didapati dengan menentukan kuantiti bes kuat yang diperlukan untuk menggantikan kation ini.

Bagi air semula jadi, keasidan berpunca daripada kewujudan karbon dioksida bebas yang terlarut di dalam air. Keasidan juga boleh berpunca daripada asid humik, asid fulvik dan asid organik yang lain. Jika keasidan terhasil daripada kewujudan bahan-bahan ini, nilai pH biasanya melebihi 4.5. Keasidan air dengan pH kurang daripada 4.5 jarang-jarang ditemui di air semula jadi kecuali disebabkan oleh keadaan ganjil seperti kewujudan kuantiti karbon dioksida bebas secara berlebihan atau kewujudan asid organik.

Namun begitu, air yang dicemari oleh buangan industri boleh mengandungi sejumlah besar asid kuat dan garam asid. Bahan-bahan ini boleh mengganggu keseimbangan karbonat. Nilai pH air ini boleh menurun di bawah 4.5. Air yang mempunyai nilai pH kurang daripada 4.5 mempunyai keasidan bebas atau keasidan mineral.

Keasidan mineral (bebas) ini boleh ditentukan dengan pentitratan sampel air dengan larutan alkali piawai sehingga pH 4.5. **Keasidan jumlah** pula ditentukan dengan pentitratan hingga pH 8.3. Pentitratan boleh dilakukan secara penglihatan, kulorimetri ataupun secara elektrometri.

Sampel untuk penentuan keasidan perlu diambil dengan menggunakan botol polietilena dan sampel ini perlu disimpan pada suhu rendah. Penganalisan untuk keasidan harus dilakukan secepat mungkin sebaik sahaja sampel air diambil. Sekiranya sampel air mengandungi jumlah bahan terampai yang banyak, air harus dituras terlebih dahulu dengan penuras membran (0.45 μ m) sebelum pentitratan dilakukan. Keputusan pada kebiasaannya dilaporkan dalam mg NaOH/l CaCO_3 .

KEALKALIAN

Kealkalian boleh ditakrifkan sebagai kemampuan untuk menerima proton atau meneutralkan asid. Kealkalian berpunca terutama sekali daripada kewujudan bikarbonat, karbonat dan hidroksil dan juga daripada kehadiran borat; silika dan fosfat di dalam air. Kealkalian diukur dengan menentukan isipadu larutan asid kuat yang diperlukan untuk meneutralkan sampel air.

Bagi air semula jadi, kealkalian berpunca daripada kewujudan bikarbonat logam alkali. pH pada kebiasaannya tidak melebihi 8.3. Tetapi sekiranya ion karbonat wujud dalam air, maka nilai pH boleh melebihi 8.3. Isipadu asid yang diperlukan untuk menurunkan nilai pH kepada 8.3 dikenali sebagai kealkalian bebas.

Kealkalian bebas dan am boleh ditentukan dengan pentitratan sampel air dengan asid piawai kepada pH 8.3 dan pH 4.5 masing-masing. Penentuan ini boleh dilakukan secara penglihatan atau elektrometri. Apabila pentitratan dilakukan secara penglihatan, penunjuk fenoltalein (pH 8.3) dan metil jingga (pH 4.5) digunakan.

Bab 8

PLANKTON

Di bab awal, kita telah melihat bahawa komuniti persekitaran akuatik sama ada di tasik mahupun di sungai memperlihatkan pembahagian struktur bukan sahaja secara fungsi malahan secara ruang. Struktur ruang yang bersifat tiga dimensi ini menggambarkan kedudukan sesuatu komuniti organisma di dalam ruang habitat yang ada dan ini mempunyai kaitan rapat dengan fungsi organisma di persekitaran.

Di sebabkan sifat air itu sendiri, terdapat satu komuniti organisma yang hidup terampai di persekitaran akuatik yang tidak ditemui di persekitaran daratan. Pada amnya, individu komuniti ini bersifat mikroskopik dan mempunyai keupayaan berenang yang terhad atau terbatas. Sebagai satu kumpulan, organisma ini membentuk apa yang dikenali sebagai **komuniti plankton**.

Perkataan *plankton* yang bermaksud merayau, telah mula-mula digunakan oleh Hensen pada tahun 1887 untuk menghuraikan segala bentuk bahan mikroskopik yang terampai di dalam air. Plankton merupakan gabungan tumbuhan, haiwan, kulat dan bakteria yang halus. Disebabkan pergerakannya yang terhad, taburan dan sebaran organisma ini ditentukan oleh angin, arus dan pasang surut air. Komuniti plankton telah menarik minat begitu ramai ahli sains untuk menjalankan penyelidikan. Hasil daripada kajian ini, beberapa pengelasan utama telah dihasilkan.

FITOPLANKTON

Satu komponen plankton yang utama di persekitaran akuatik ialah komuniti fitoplankton. Fitoplankton terdiri daripada satu kumpulan flora seni yang pada amnya merupakan organisma unisel. Walaupun begitu, tumbuhan ini

boleh wujud dalam bentuk koloni atau sebagai satu rantai panjang. Saiz organisma ini berbeza-beza daripada 1 m hinggalah kepada 200 μm . Bergantung pada saiz, fitoplankton seterusnya boleh dibahagikan kepada plankton jaring dan nanoplankton (lihat Jadual 8.1).

Memandangkan fitoplankton diwakili terutamanya oleh kumpulan alga yang mempunyai pigmen fotosintesis, maka komuniti ini merupakan pengeluar primer yang penting dalam persekitaran akuatik. Seperti juga dengan komuniti plankton yang lain, taburan dan sebaran fitoplankton dipengaruhi oleh pergerakan air.

KOMPOSISI FITOPLANKTON

Fitoplankton boleh dikelaskan kepada beberapa filum. Beberapa kriteria digunakan untuk membezakan setiap filum ini. Kriteria ini termasuklah morfologi, komposisi bahan simpanan, komposisi dinding sel, bilangan dan aturan flagelum dan juga cara pembiakan. Jadual 8.2 menunjukkan beberapa perbezaan antara kumpulan fitoplankton. Pada amnya, spesies fitoplankton air tawar terdiri daripada salah satu daripada empat kumpulan utama: alga biru-hijau (filum **Cyanophyta**), alga hijau (filum **Chlorophyta**), diatom (filum **Bacillariophyta**) dan dinoflagelat (filum **Pyrrophyta**).

CYANOPHYTA

Ahli kumpulan ini lebih dikenali sebagai **alga biru-hijau** dan kerap kali digolongkan bersama di dalam kumpulan bakteria. Organisma ini dikelaskan sebagai **sianobakteria** kerana memiliki sifat prokariot yang dicirikan oleh nukleus yang tidak dilindungi oleh membran. Di samping itu, pigmen fotosintesis tidak ditemui di kloroplasnya tetapi ber-taburan di sitoplasma. Dinding sel alga biru-hijau juga menyerupai dinding **bakteria gram negatif**.

Walaupun terdapat persamaan dengan bakteria, namun alga biru-hijau menunjukkan banyak perbezaan. Ini menyebabkan beberapa ahli taksonomi

lebih gemar memisahkan alga biru-hijau kepada satu kumpulan tersendiri. Alga biru-hijau mempunyai beberapa pigmen termasuklah klorofil, **fikobilin** dan karotein. Fikobilin terbentuk daripada dua pigmen utama, iaitu **fikosianin** yang berwarna biru dan **fikoeritrin** yang berwarna merah. Gabungan daripada pigmen-pigmen inilah yang memberi warna hijau kebiruan kepada organisma ini.

Sesetengah alga biru-hijau seperti *Anabaena* dan *Nostoc* mampu mengikat nitrogen bebas, sama seperti yang dilakukan oleh sesetengah bakteria. Namun begitu, kemampuan organisma ini mengikat nitrogen adalah melalui struktur khas yang dikenali sebagai **heterosista**.

Alga biru-hijau yang hidup secara plankton terdiri daripada order **Chroococcales** yang berbentuk kokoid dan **Nostocales** yang ahlinya berbentuk filamen. Dalam Chroococcales, genus yang penting ialah *Microcystis*, *Coelosphaerium*, *Aphanothece* dan *Merismopedia* (Rajah 8.1). Nostocales pula diwakili oleh *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Gloeotrichia*, *Oscillatoria* dan *Lyngbya*.

Alga biru-hijau kerap membentuk satu populasi terampai yang besar di permukaan air. Fenomenon ini dikenali sebagai **kembangan alga** dan alga yang biasa terlibat terdiri daripada genus seperti *Lyngbya*, *Anabaena*, *Coelosphaerium*, *Microcystis* dan *Aphanizomenon*. Kehadiran alga-alga ini dengan banyak boleh menyebabkan tasik kelihatan seolah-olah ditutupi oleh permaidani hijau. Fenomenon kembangan alga bertanggungjawab menukarkan warna dan rasa air. Pengeluaran toksin oleh sesetengah spesies alga boleh memudaratkan kesihatan manusia. Di samping itu, kehadirannya yang banyak di permukaan boleh menghalang kemasukan cahaya matahari dan seterusnya mengurangkan kadar fotosintesis. Kemunculan alga ini secara mendadak disusuli pula dengan kematiannya yang mendadak. Pereputan alga-alga ini bertanggungjawab mengurangkan lagi kandungan

oksigen terlarut yang sememangnya sudah kurang di dalam air kepada tahap yang sangat rendah dan ini boleh membahayakan hidupan akuatik terutamanya ikan.

CHLOROPHYTA

Ahli Chlorophyta atau **alga hijau** merupakan kumpulan yang sangat pelbagai, daripada yang bersifat unisel hinggalah kepada alga yang bertalus filamen. Di samping mempunyai klorofil a dan b, alga ini juga mempunyai karotenoid dan xantofil yang terkandung di dalam kloroplas. Sesetengah alga hijau tidak kelihatan berwarna hijau kerana warna hijau klorofil dilindungi oleh pigmen aksesori yang lain. Makanan simpanan utamanya ialah kanji dan ciri ini menjadikan ujian iodine merupakan ujian penting dalam pengecaman kumpulan ini.

Spesies plankton tergolong dalam tiga order, **Volvocales**, **Chlorococcales** dan **Conjugales**. *Carteria*, *Chlamydomonas*, *Eudorina* dan *Volvox* merupakan genus penting dalam order Volvocales (Rajah 8.2). Order Chlorococcales pula diwakili oleh *Oocystis*, *Ankistrodesmus*, *Dictyosphaerium*, *Pediastrum*, *Coelastrum* dan *Scenedesmus*. Ahli daripada kumpulan Conjugales lebih dikenali sebagai **desmid** dan organisma ini boleh berbentuk unisel ataupun filamen. Di kalangan alga unisel, **desmid plakoderma** mempunyai bentuk yang unik kerana sel alga ini terbahagi kepada dua **semisel** yang dihubungkan oleh **sementing**. Desmid plankton yang utama terdiri daripada genus *Staurastrum*, *Staurodesmus*, *Cosmarium* dan *Closterium* (Rajah 8.3).

Chlamydomonas berupaya bergerak disebabkan kehadiran flagelum, tetapi pergerakannya terhad (Rajah 8.4). Alga hijau yang bersel tunggal dan yang tidak bergerak seperti *Chlorella* kadangkala terbentuk dengan banyak dalam tasik atau kolam dan menjadikan air di habitat ini kelihatan kehijauan. *Volvox* merupakan alga hijau yang begitu menarik dan mempesonakan

kerana koloninya berbentuk sfera yang bergerak secara bergolek. Koloninya terdiri daripada beribu-ribu sel dan setiap sel menyerupai bentuk *Chlamydomonas*, iaitu setiap sel mempunyai sepasang flagelum yang terletak di bahagian anterior dan mempunyai kloroplas berbentuk cawan.

BACILLARIOPHYTA

Kumpulan alga ini lebih dikenali sebagai **diatom** dan merupakan ahli fitoplankton yang penting kerana membentuk satu populasi yang utama di tasik. Perlu ditekankan di sini bahawa walaupun kumpulan ini boleh didapati hidup sebagai plankton, kebanyakan diatom bersifat bentik dan boleh ditemui di dasar atau kawasan litoral. Diatom mempunyai bentuk dan saiz yang pelbagai, daripada yang bersel tunggal hinggalah kepada sel yang berbentuk rantaian seperti *Melosira* dan *Tabellaria*. Dari segi bentuk, diatom unisel boleh dikelaskan kepada dua jenis, diatom **penat** yang menunjukkan simetri bilateral seperti *Pinnularia* dan diatom **sentrik** yang bersimetri radial seperti *Cyclotella* (Rajah 8.5).

Diatom merupakan penghasil primer yang penting dalam jaringan makanan di ekosistem akuatik. Genus yang kerap ditemui di habitat air tawar termasuklah *Synedra*, *Navicula*, *Nitzschia* dan *Asterionella*. Spesies *Cocconeis*, *Gomphonema* dan *Eunotia* hidup secara epifit di atas alga air tawar seperti *Cladophora* dan *Oedogonium*.

Diatom mempunyai dinding sel yang unik kerana terdiri daripada dua bahagian yang bertindih (**frustul**) yang dibuat daripada silika. Bahagian dinding atas dikenali sebagai **epiteka**, manakala bahagian dinding bawah dikenali sebagai **hipoteka**. Epiteka dan hipoteka boleh bercantum rapat seolah-olah seperti dua bahagian piring petri. Frustul silika ini sangat tahan kepada proses pemusnahan dan ini menjadikannya tahan kepada pencernaan herbivor. Oleh itu, tidaklah menghairankan frustul diatom boleh

bertumpuk dengan tebal di dasar dan merupakan sebahagian sedimen tasik. Keperluan silika untuk membina frustul menjadikan kandungan silika di dalam air mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan populasi diatom. Dalam keadaan tertentu, silika merupakan **faktor pengehad** terhadap perkembangan diatom.

PYRROPHYTA

Ahli Pyrrophyta lebih dikenali sebagai **dinoflagelat** dan boleh dikatakan semua ahli kumpulan ini membentuk komuniti plankton. Dinoflagelat lebih berkembang di lautan jika dibandingkan dengan ekosistem air tawar. Kumpulan ini mempunyai kedua-dua ciri haiwan dan tumbuhan. Selain daripada mempunyai flagelum, dinoflagelat juga mempunyai pigmen fotosintesis. Dinoflagelat mempunyai klorofil a dan c dan makanan simpanan utamanya ialah kanji.

Kebanyakan dinoflagelat bersel tunggal dan mempunyai dua flagelum. Dua jenis flagelum asas boleh dikenali: **desmokon** dan **dinokon**. Desmokon mempunyai dua flagelum anterior, manakala dinokon mempunyai flagelum di bahagian lateral (Rajah 8.6). Bagi dinokon, satu flagelum berbentuk reben dan mengelilingi sel dalam alur, manakala satu lagi flagelum memanjang ke belakang. Dengan kehadiran alur, sel dinokon terbahagi kepada dua bahagian: **epikon** dan **hipokon**. Sel dinoflagelat ditutupi oleh plat yang terdiri daripada selulosa.

PENSAMPELAN DAN PENGUKURAN

Kajian terhadap taburan dan sebaran fitoplankton di habitat akuatik boleh dilakukan secara kualitatif mahupun secara kuantitatif. Untuk tujuan kualitatif, fitoplankton boleh dikumpulkan dengan menggunakan **jaring plankton** yang ditarik dari atas bot (Rajah 8.7). Sekiranya kajian kuantitatif

perlu dilakukan, fitoplankton boleh diekstrak daripada air yang isipadunya telah diketahui. Sampel dari kedalaman yang berlainan boleh diperoleh dengan menggunakan alat pensampelan yang khusus seperti **pensampel Van Dorn** dan **pensampel Kemmerer** (Rajah 8.8). Sampel yang diperoleh ini kemudiannya diawetkan dengan formalin, iodin ataupun kloroform.

Untuk mendapatkan isipadu tertentu, subsampel fitoplankton dipindahkan dengan menggunakan **pipet Hense-Stempel** kepada **sel pengiraan Sedgwick-Rafter** (Rajah 8.9). Fitoplankton kemudiannya dikira secara individu dengan menggunakan mikroskop.

Kaedah pengiraan sel daripada isipadu air yang diketahui merupakan kaedah yang membenarkan anggaran jumlah sel per ml dibuat. Di samping itu, kelimpahan sesuatu spesies boleh dinilai. Kaedah pengiraan ini juga membolehkan biojisim fitoplankton diukur dengan menganggarkan berat purata setiap jenis sel. Ini boleh dilakukan dengan mengukur dimensi setiap jenis sel yang dilihat di bawah mikroskop dan kemudian mendapatkan isipadu dengan menggunakan formula bentuk geometrik (contohnya sfera, silinder atau kon) yang hampir menyerupai bentuk spesies alga. Dengan menganggap ketumpatan setara dengan air, maka purata isipadu/sel boleh ditukar secara langsung kepada purata berat/sel yang kemudiannya boleh didarab dengan jumlah sel untuk mendapatkan anggaran biojisim.

Satu lagi kaedah adalah dengan menganggarkan kepekatan pigmen fotosintesis dalam alga sebagai ukuran untuk kelimpahan. Daripada kajian yang dilakukan, didapati bahawa terdapat hubungan rapat antara kandungan klorofil dengan biojisim (Rajah 8.10). Di permukaan air yang terdapat cahaya yang mencukupi, perkembangan fitoplankton di- rangsang. Kandungan klorofil juga tinggi di kawasan ini.

Pengekstrakan pigmen daripada fitoplankton boleh dilakukan dengan menuras isi.: padu yang diketahui dengan menggunakan pelarut organik seperti aseton. Penyerapan cahaya oleh ekstrak pada jarak gelombang 665 nm kemudiannya ditentukan.

VARIASI BERMUSIM FITOPLANKTON

Komuniti fitoplankton di tasik terdedah kepada pengaruh musim. Di kawasan temperat dan kutub, terdapat perbezaan besar antara biojisim fitoplankton pada musim panas dengan musim sejuk. Di kawasan khatulistiwa pula, perbezaan boleh dilihat antara musim l}ujan dengan musim kemarau. Turun naik populasi fitoplankton yang kelihatan terhasil daripada perubahan faktor fizikal, kimia dan biologi di persekitaran.

Di kawasan temperat, pertumbuhan fitoplankton berlaku secara minimum pada musim sejuk kerana faktor cahaya dan suhu yang rendah tidak menggalakkan pertumbuhannya.

Bilangan dan biojisim fitoplankton biasanya menunjukkan peningkatan pada musim bunga selari dengan peningkatan suhu dan cahaya. Populasi maksimum pada musim bunga biasanya berlaku untuk satu jangka masa yang singkat. Keadaan maksimum akan digantikan pula dengan penurunan bilangan dan biojisim alga dan keadaan ini berpanjangan hingga ke musim panas. Ini kemudian diikuti pula oleh keadaan maksimum kedua yang boleh dilihat pada musim luruh.

Di kawasan khatulistiwa, jumlah biojisim dan penghasilan fitoplankton lebih besar dan lebih malar jika dibandingkan di kawasan temperat. Namun begitu, perubahan yang ketara boleh dilihat pada musim hujan kerana hujan mempengaruhi kemasukan nutrien dan mengubah kejernihan air.

FITOPLANKTON DAN TAHAP PEMAKANAN

Kita telah melihat manusia cuba mengelaskan persekitaran akuatik dengan beberapa cara. Boleh dikatakan setiap parameter termasuklah geomorfologi, kandungan kimia dan jenis organisma digunakan sebagai asas pengelasan. Salah satu pendekatan dalam pengelasan tasik adalah berdasarkan komposisi fitoplankton. Seperti yang kita maklum, komuniti fitoplankton sangat pelbagai dan menunjukkan toleransi yang luas terhadap keadaan persekitaran yang wujud. Walau bagaimanapun, beberapa hubungan cirian fitoplankton boleh diperhatikan dengan peningkatan nutrien di dalam persekitaran. Jadual 8.3 menunjukkan komuniti fitoplankton yang kerap ditemui di persekitaran bergantung pada tahap kesuburan tasik.

Pengelasan fitoplankton kepada **spesies oligotrof** atau **eutrof** merupakan satu panduan am sahaja. Pengelasan ini banyak kelemahannya kerana terdapat pencampuran spesies antara kedua-dua tahap trofik. Di samping itu, kita telah maklum bahawa sesaran bermusim berlaku kerana komuniti yang ada akan diganti pula dengan komuniti fitoplankton yang lain. Namun begitu, pengelasan ini berfaedah dalam membuat korelasi am antara kelimpahan kualitatif dan kuantitatif spesies dengan nutrien yang sedia ada. .

Selain daripada menggunakan **organisma penunjuk** kepada tahap trofik tasik, penghasilan primer juga kadangkala digunakan sebagai kriteria tambahan dalam menentukan tahap pengayaan habitat akuatik. Jadual 8.4 menunjukkan julat penghasilan fitoplankton yang biasanya dikaitkan dengan sistem oligotrofi dan eutrofi.

MENGEKALKAN KEDUDUKAN

Untuk menjalankan fungsi sebagai penghasil utama dengan berkesan. fitoplankton perlu mengekalkan kedudukannya di permukaan air, iaitu di zon eufotik yang terdapat cahaya matahari dengan banyak. Memandangkan kebanyakan alga lebih berat daripada air dan mudah tenggelam, maka alga perlu mewujudkan **peranti pengapungan**. Peranti pengapungan ini sekurang-kurangnya dapat mengurangkan kadar penenggelaman alga.

Cara yang paling mudah ialah dengan meningkatkan luas permukaan. Objek leper akan tenggelam lebih perlahan daripada objek sfera yang mempunyai berat yang sama. Oleh itu, banyak fitoplankton didapati berbentuk leper atau cakera. Kesan yang sama boleh diperolehi dengan menyambungkan setiap individu untuk membentuk reben atau rantai panjang. Struktur seperti tanduk, duri, rerambut dan unjuran yang lain boleh juga meningkatkan rintangan kepada proses penenggelaman alga.

Daripada kajian yang dijalankan, didapati bahawa alga hijau *Scenedesmus* yang mempunyai duri lebih mudah terapung daripada jenis yang tidak berduri. Struktur penyesuaian ini memainkan peranan yang penting di kawasan tropika yang panas kerana kelikatan air di kawasan ini lebih rendah daripada di kawasan temperat. Kelikatan yang rendah ini akan mempercepatkan lagi proses penenggelaman sesuatu jasad.

Terdapat juga mekanisme fisiologi untuk mengawal pengapungan. Mekanisme ini termasuklah penggunaan minyak, gelembung gas dan selaput bergelatin seperti yang ditunjukkan oleh beberapa spesies diatom dan dinoflagelat. Minyak lebih ringan daripada air dan dapat meningkatkan pengapungan. Alga biru-hijau seperti *Oscillatoria* mampu menghasilkan vakuol gas dalam sel yang memberikan pengapungan positif.

Sesetengah peranti bukan sahaja bertindak sebagai peranti pengapungan tetapi juga bertindak sebagai struktur penghalang kepada aktiviti ragutan.

Unjuran keras, saiz peranti yang besar, selaput bergelatin dan cara hidup berkelompok atau pembentukan koloni berfungsi untuk memenuhi tujuan ini.

ZOOPLANKTON

Selain daripada menyediakan habitat untuk fitoplankton, persekitaran air tawar juga merupakan habitat kepada pelbagai jenis haiwan kecil yang membentuk komuniti **zooplankton**. Walaupun zooplankton pada amnya boleh dibezakan daripada fitoplankton dari segi pergerakan, namun pergerakan yang ditunjukkan masih tidak cukup untuk menentukan taburannya sendiri. Taburan haiwan terampai ini masih dikawal oleh ombak dan arus.

KOMPOSISI ZOOPLANKTON

Antara zooplankton yang penting di dalam tasik ialah ahli daripada kumpulan **Protozoa, Rotifera, Cladocera** dan **Copepoda**.

PROTOZOA

Protozoa (*protos* = pertama; *zoon* = haiwan) ialah haiwan yang mempunyai struktur jasad yang paling mudah. Namun begitu, populasi haiwan ini memperlihatkan variasi yang besar. Semua protozoa ialah organisma unisel dan mempunyai saiz daripada beberapa mikron hingga 5 mm. Boleh dikatakan di semua habitat akuatik sama ada tasik, kolam atau sungai mempunyai populasi protozoa (Jadual 8.5). Populasi protozoa yang besar

boleh ditemui terutamanya di jasad air yang kaya dengan bahan organik ataupun di jasad air yang memperlihatkan populasi bakteria atau alga yang tinggi. Banyak spesies protozoa membentuk koloni yang terdiri daripada beberapa ribu individu.

Cam pergerakannya dijadikan asas utama dalam pengelasan protozoa. Protozoa ialah organisma daripada filum **Sarcodina**, **Ciliophora** dan **Mastigophora** (lihat Jadua1 8.5). Protozoa sarkodina bergerak dengan cara yang dikenali sebagai pergerakan penstriman, iaitu melalui pembentukan struktur **pseudopodium**. Protozoa sarkodina yang biasa ditemui di persekitaran akuatik termasuklah *Amoeba*, *ArceIIa*, *Pelomyxa* dan *Diffflugia* (Rajah 8.11). Protozoa siliofor pula bergerak pantas dengan menggunakan flagelum atau silium. *Paramecium* ialah protozoa siliofor yang biasa ditemui di persekitaran akuatik. *VorticeIIa* merupakan siliofor yang bersifat **penguap turas** yang kerap dijumpai apabila kita menyelidiki detritus tasik (Rajah 8.12) Di samping memakan detritus, protozoa ini juga memakan bakteria, kulat, alga atau protozoa lain.

Sebahagian daripada protozoa mastigofor menunjukkan ciri-ciri haiwan dan tumbuhan. Di samping berupaya bergerak dengan menggunakan flagelum, organisma ini yang juga dikenali sebagai **zooflagelat** mempunyai klorofil yang membolehkannya menjalankan fotosintesis. Disebabkan itu, spesies seperti *Ceratium*, *Euglena* dan *Synura* kadang-kadang dikelaskan bersama-sama dengan kumpulan alga. Tidak semua ahli Mastigophora mempunyai pigmen. Protozoa seperti *Peranema*, *Astasia*, *Bodo* dan *Oikomonas* tergolong dalam kumpulan zooflagelat yang tidak berpigmen (Rajah 8.13).

Kebanyakan protozoa berkembang secara pembahagian kepada satu atau lebih individu. Pembiakan aseks ini membolehkan populasi protozoa berkembang dengan cepat sekali. Bagi sesetengah protozoa, dua individu akan bercantum semasa **konjugasi**. Semasa proses percantuman ini,

protozoa akan saling tukar menukar bahan nukleus. Cara pembiakan ini perlu untuk mengekalkan kecergasan dan kebolehubahan genetik.

ROTIFERA

Rotifer, haiwan **pseudoselom** yang seni ialah sejenis organisma yang cantik. Rotifer memakan bahan terampai dan dapat dikenali dengan kehadiran **korona bersilium** di bahagian anterior dan farinks khusus yang dikenali sebagai **mastak** (Rajah 8.14). Membarisi mastak ialah struktur keras yang dikenali sebagai **trofi** yang bertindak sebagai gigi kunyah. Silium digunakan untuk pergerakan dan menarik masuk zarah terampai. Terdapat lebih daripada 1800 spesies rotifer. Kebanyakannya sesil tetapi ada juga yang terampai dan membentuk komuniti zooplankton.

Satu contoh rotifer ialah *Asplanchna* yang merupakan haiwan pemangsa (Rajah 8.15). Rotifer inilah yang paling besar didapati. Badannya lutsinar dan berbentuk bak pundi. Di dalam pundi terdapat cecair yang mampu mengurangkan graviti tentu. Rotifer lain yang sering ditemui termasuklah *Kellicottia* dan *Keratella*. Jasad kedua-dua organisma ini agak unik kerana dilindungi oleh kutikel tebal yang dikenali sebagai **lorika**. Rotifer pada amnya dikelaskan berdasarkan bentuk lorika dan trofi (Jadual 8.6). Rotifer boleh dibahagikan kepada tiga kumpulan utama, iaitu **Seisonidea**, **Bdelloidea** dan **Monogonata**.

Kebanyakan zooplankton yang besar terdiri daripada kelas **Crustacea**, kumpulan utama dalam filum **Arthropoda** (organisma apendaj bersendi). Semua krustasea dikenali dengan rangka luar yang dibuat daripada kitin. Dua kumpulan krustasea yang terpenting dari segi limnologi ialah **Copepoda** dan **Cladocera** (Jadual 8.7).

CLADOCERA

Kebanyakan kladosera ialah krustasea seni dan merupakan haiwan penuras. Haiwan ini dilindungi oleh karapas dwicangkerang yang berlipat. Bagi beberapa spesies kladosera, bahagian posterior karapas membentuk duri yang panjang. Di bahagian kepala terdapat satu mata majmuk yang besar.

Antara kladosera yang terpenting di persekitaran akuatik termasuklah *Daphnia*, *Diaphanosoma* dan *Bosmina* (Rajah 8.16). Satu perkara yang menarik tentang biologi kladosera ialah perubahan bermusim tubuh beberapa spesiesnya. Beberapa spesies kladosera terutamanya *Daphnia* dan *Bosmina* menunjukkan pembesaran bahagian-bahagian tubuh yang tertentu. Fenomenon yang dikenali sebagai **siklomorfosis** ini dipercayai terhasil daripada pengaruh suhu, pemakanan dan fisiologi terhadap organisma ini (Rajah 8.17).

COPEPODA

Kopepod mempunyai tubuh berbentuk silinder dan abdomennya agak sempit. Terdapat tiga kumpulan kopepod: **siklopoid**, **kalanoid** dan **harpaktikoid** (Rajah 8.18). Setiap kumpulan berbeza berdasarkan bentuk tubuh, tabiat, pergerakan dan peranan ekologi. Kopepod kalanoid boleh dikenali dengan antena panjang yang terdiri daripada 23 hingga 25 segmen. Kumpulan ini juga boleh dikenali dengan metasom (radas anterior) yang memanjang. Telur dibawa dalam satu atau dua pundi. Kumpulan ini pada amnya bersifat plankton di bahagian limnetik tasik dan *Diaptomus* ialah kalanoid yang dominan dalam keadaan tertentu (Rajah 8.19).

Kopepod siklopoid mempunyai antena pendek (6 hingga 17 segmen), manakala metasom agak leper dan meruncing di bahagian posterior. Telur dibawa di dalam pundi yang melekat secara lateral. Siklopoid yang biasa ditemui di air tawar ialah *Cyclops* (Jadual 8.8).

Kopepod harpaktikoid pula mempunyai antena yang sangat pendek yang terdiri daripada tidak lebih daripada sembilan segmen. Tubuhnya seakan bentuk silinder dan tidak dapat dibezakan antara bahagian anterior dan posterior. Di air tawar, *Canthocamptus* dan *Bryocamptus* ialah harpaktikoid yang biasa ditemui.

Kopepod siklopoid dan kalanoid merupakan komponen penting plankton, manakala kopepod harpaktikoid selalunya dijumpai di dasar. Pada amnya, kopepod membentuk 50 peratus daripada komuniti zooplankton dan merupakan diet utama untuk kebanyakan ikan.

PEMAKANAN ZOOPLANKTON

Banyak zooplankton merupakan organisma penuras bahan-bahan terampai. Bahan yang dituras termasuklah bakteria, detritus serta alga dan kebanyakan zooplankton memilih apa yang dimakan. Makanan yang digemari termasuklah diatom dan alga hijau yang seni. Alga biru hijau, dinoflagelat dan desmid jarang-jarang dimakan oleh zooplankton.

Kopepod seperti *Cyclops*, *Limnocalanus* dan *Senecella* mempunyai kaki yang berbulu dan berseta. Struktur ini digunakan untuk menuras zarah-zarah halus yang kemudiannya dikumpulkan ke alur ventral sebelum dibawa ke mulut (Rajah 8.20). Kebanyakan kopepod siklopoid makan secara menyambar dengan memakan peringkat muda spesiesnya sendiri, kopepod lain, rotifer dan fitoplankton.

Rotifer seperti *Keratella*, *Filinia* dan *Brachionus* ialah organisma omnivor, manakala rotifer seperti *Asplanchna* dan *Synchaeta* bersifat karnivor (lihat Rajah 8.15). Rotifer menggunakan silium yang terdapat di bahagian anterior untuk menghalakan makanan ke mulut. Di sebabkan saiznya yang kecil, rotifer memakan nanoplankton, bakteria dan detritus yang berdiameter 15µm.

Dalam keadaan semula jadi, peragutan yang dilakukan oleh zooplankton memainkan peranan penting dalam mengurangkan saiz populasi fitoplankton. Disebabkan makanan utama zooplankton herbivor ialah diatom, tekanan pemangsaan merupakan faktor utama dalam mempengaruhi komposisi dan bilangan spesies diatom. Sesetengah alga tidak menunjukkan sebarang kesan terhadap tekanan pemangsaan; manakala bagi populasi fitoplankton yang lain, pemangsaan boleh membantu meningkatkan populasi. Ini berlaku kerana pemangsaan akan mengurangkan kadar persaingan antara individu. Sesetengah alga biru- hijau dan alga hijau, terutamanya yang mempunyai selaput bergelatin, mungkin tidak mengalami kecederaan langsung selepas melalui salur pencemaran zooplankton.

Selain daripada faktor iklim, peragutan juga mungkin mempengaruhi sesaran spesies fitoplankton. Pada sesuatu musim, spesies fitoplankton bertukar daripada spesies yang boleh dimakan oleh herbivor kepada spesies yang tidak boleh dimakan seperti alga biru-hijau. Perembesan nutrien oleh zooplankton seterusnya mengubah sesaran fitoplankton.

PEMBIAKAN ZOOPLANKTON

Masa generasi bagi kebanyakan zooplankton sangat pendek, mungkin melibatkan beberapa hari atau minggu sahaja. Walau bagaimanapun, terdapat perbezaan besar dalam strategi pembiakan bagi setiap kumpulan.

Bagi rotifer, pembiakan mungkin berlaku secara **partenogenesis** dengan populasi betina menghasilkan telur yang tidak pernah disenyawakan. Kesemua telur ini akan menetas menjadi individu betina. Walau bagaimanapun, dalam keadaan tertentu terutamanya semasa keadaan persekitaran tidak sesuai, satu jenis telur lain akan dihasilkan dan telur ini akan menetas menjadi individu jantan. Persenyawaan antara individu jantan dengan individu betina boleh berlaku dan telur yang disenyawakan akan membentuk kulit tebal yang tahan kepada persekitaran yang ekstrem. Telur ini akan menjadi dorman selama beberapa bulan sebelum menetas.

Kladosera juga boleh membiak secara partenogenesis dan boleh menghasilkan beberapa generasi betina. Telur dihasilkan di dalam pundi yang terdapat di bahagian dorsal karapas. Dalam keadaan yang tidak sesuai, individu jantan dihasilkan dan telur yang disenyawakan akan bertukar kepada bentuk kapsul yang rintang.

Kopepod pula membiak hanya secara seks. Zuriat yang dihasilkan melalui beberapa peringkat larva (Rajah 8.21). Telur terkandung di dalam dua pundi yang kemudiannya akan menetas dan menghasilkan peringkat pertama **larva nauplius**. Larva ini berbentuk buah lai dengan tiga pasang anggota dan satu mata. Larva ini kemudiannya akan melalui empat atau lima peringkat **instar** sebelum memasuki peringkat larva kedua. **kopepodit**. Kopepodit menyerupai induk kecuali bahagian abdomennya tidak bersegmen dan hanya terdapat tiga pasang apendaj toraks. Pada amnya, jenis remaja tercapai selepas enam instar nauplius dan lima instar kopepodit.

PENGUKURAN DAN PENSAMPELAN

Sampel zooplankton boleh diperoleh dengan menggunakan **jaring plankton**. Bergantung pada protozoa yang disampel, berbagai-bagai jaring plankton yang berlainan saiz boleh digunakan. Untuk mendapatkan rotifer yang halus

ataupun peringkat muda kopepod dan kladosera, jaring yang bersaiz 60- 80 μm boleh digunakan. Masalah jaring tersumbat sering dihadapi apabila menggunakan jaring yang bersaiz kecil. Jaring yang bersaiz 200 μm boleh mengurangkan masalah ini, tetapi zooplankton yang bersaiz kecil tidak boleh diperoleh. Bagi pensampelan kuantitatif, **meter alir** diletakkan di muka jaring plankton.

Bilangan zooplankton boleh dikira daripada sampel yang telah dipekatkan dan sub sampel diambil dengan pipet. Zooplankton pada amnya senang untuk dicamkan. Penggunaan mikroskop binokular sudah memadai untuk mengecam dan mengira kebanyakan individu. Namun begitu, pembesaran yang tinggi diperlukan bagi spesies rotifer dan peringkat muda kopepod dan kladosera.

Bilangan zooplankton kemudiannya boleh ditukar kepada berat dengan mengukur dimensi anggaran untuk setiap individu di bawah mikroskop dan menukarkan isipadu dengan menggunakan formula geometri untuk bentuk haiwan yang ditemui, sama seperti pengiraan yang dibuat untuk fitoplankton.

TABURAN MENEGAK DAN PENGHIJRAHAN HARIAN

Salah satu fenomena aneh yang berlaku di persekitaran akuatik ialah **penghijrahan** menegak yang dilakukan oleh zooplankton. Penghijrahan menegak ialah nama yang diberi kepada penghijrahan ke permukaan air pada waktu malam dan penghijrahan ke bawah pada siang hari. Penghijrahan ini dilakukan setiap hari oleh beberapa organisma zooplankton. terutamanya oleh kladosera dan kopepod (Rajah 8.22).

Fenomenon penghijrahan harian ini telah diketahui lebih daripada 100 tahun dahulu. Apa yang menjadikan fenomena ini begitu aneh ialah kesukaran untuk memberi penjelasan mengapa organisma yang begitu kecil perlu menggunakan tenaga yang besar untuk melakukan aktiviti ini. Jarak yang terpaksa ditempuhi oleh zooplankton untuk melakukan pergerakan harian ini boleh mencapai 100- 400 m. Memandangkan saiz haiwan ini hanya beberapa milimeter sahaja, pergerakan ini bersamaan dengan seorang manusia berjalan 50 batu sehari.

Ramai ahli sains mempercayai bahawa cahaya merupakan rangsangan utama yang mengawal penghijrahan menegak secara harian ini. Zooplankton bertindak balas secara negatif kepada cahaya, berpindah ke air yang lebih dalam semasa keamatan cahaya meningkat. Sebaliknya, zooplankton bergerak menuju ke permukaan semasa keamatan cahaya berkurangan.

Pada waktu malam, semasa keamatan cahaya sangat berkurangan, zooplankton dijumpai di permukaan air dan pada waktu subuh haiwan ini memulakan proses penghijrahan ke bawah. Semasa keamatan cahaya meningkat pada waktu pagi, haiwan berhijrah lebih jauh ke bawah dan berada pada kedudukan yang paling dalam pada waktu tengah hari. Semasa sinar matahari mulai berkurangan pada waktu petang, zooplankton memulakan penghijrahan pula ke permukaan dan berada di permukaan pada waktu senja.

Walaupun cahaya merupakan rangsangan utama untuk penghijrahan menegak ini, namun aktiviti ini tidak menerangkan mengapa zooplankton perlu melakukannya. Apakah faedah untuk melakukan pergerakan yang memerlukan tenaga yang banyak ini? Beberapa hipotesis lain telah diketengahkan oleh ahli limnologi untuk cuba menjelaskan fenomena ini.

Hipotesis pertama menyatakan bahawa zooplankton bergerak dari kawasan yang terang ke kawasan yang lebih gelap kerana mengelak daripada pemangsaan harian oleh ikan, sefalopod dan burung. Terdapat beberapa kelemahan hipotesis ini. Semasa waktu siang, walaupun zooplankton mulai bergerak ke bawah, namun tubuhnya masih boleh kelihatan oleh pemangsa. Di samping itu, sesetengah pemangsa sendiri melakukan aktiviti penghijrahan. Hipotesis ini juga tidak dapat menerangkan mengapa kebanyakan zooplankton mempunyai organ biopendarcahaya, sedangkan dengan memiliki organ ini zooplankton lebih terdedah kepada pemangsa walaupun berada di tempat gelap.

Hipotesis kedua mencadangkan bahawa penghijrahan ini perlu untuk membenarkan zooplankton yang tidak mampu melawan arus mengubah kedudukan mereka. Di sebabkan oleh fenomena **lingkaran Ekman** (Rajah 8.23), zooplankton yang bergerak ke bawah akan mendapatinya berada di kawasan baru apabila haiwan ini timbul semula. Dengan berada di kawasan baru maka ini bermakna zooplankton boleh mengeksploit kawasan yang lebih luas untuk meragut fitoplankton sebagai sumber makanan.

Hipotesis akhir mencadangkan bahawa zooplankton bergerak ke bawah untuk menjimatkan tenaga. Dengan berada di air dalam yang sejuk, tenaga yang diperlukan untuk metabolisme boleh dikurangkan. Di permukaan, suhu air adalah tinggi dan ini bermakna zooplankton perlu menggunakan tenaga yang banyak untuk melakukan proses metabolisme. Oleh sebab itulah zooplankton melakukan penghijrahan ke bawah pada waktu siang dari- pada terus kekal di permukaan.

Bab 9

Bentos

Istilah *bentos* berasal daripada perkataan Greek yang bermaksud dasar. Pada mulanya, istilah bentos memberi takrif yang cukup luas yang membicarakan segala organisma yang hidup di dasar. Pada masa kini, skop istilah ini dikecilkan dan lebih dimaksudkan kepada komuniti haiwan atau fauna yang menduduki zon bentik sungai, tasik dan habitat akuatik yang lain.

Dalam skema penzonan tasik (Bab 2), kawasan bentik melibatkan zon litoral, sublitoral dan profundal. Kebanyakan daripada zon ini terbentuk daripada sedimen yang bertekstur lembut, pasir, lumpur dan sedikit substrat keras.

Secara ekologi, terdapat dua kumpulan organisma yang agak berbeza dari segi tabiat yang mendiami zon bentik. **Epifauna** ialah istilah yang digunakan untuk merujuk kepada segala organisma yang hidup pada substrat atau mempunyai kaitan dengan permukaan substrat. Organisma yang hidup dalam substrat lembut pula dikenali sebagai **infauna**. Organisma infauna boleh dibahagikan lagi kepada tiga kategori berdasarkan saiz (Jadual 9.1)

Pada amnya, jenis **mikrofauna** lebih kerap ditemui daripada jenis-jenis lain dan membentuk lebih 50% daripada jumlah biojisim dalam sesuatu tasik. Mikrofauna terdiri daripada penghuni tetap dasar ataupun peringkat spesies **makrofauna** yang paling muda. Peringkat bentik komuniti limnetik juga turut tergolong sebagai mikrofauna. Haiwan bentik menunjukkan kepelbagaian yang tinggi. Boleh dikatakan bahawa semua filum daripada protozoa hinggalah kepada makro invertebrat yang besar mempunyai ahli sebagai bentos. Daripada satu cekup sedimen yang diambil di dasar tasik, kita akan mendapati bentos seperti cacing oligoket, cacing nematod, turbelaria, moluska (termasuklah siput gastropod dan dwicangkerang), krustasea dan larva serangga (Jadual 9.2). Kehadiran serangga sama ada pada peringkat dewasa atau remaja merupakan cirian untuk persekitaran air tawar. Di

persekitaran laut dan muara, serangga tidak membentuk satu komuniti bentos yang penting.

KOMPOSISI BENTOS

TURBELLARIA

Turbellaria atau **cacing pipih** ialah ahli filum **Platyhelminthes**. Kebanyakan ahli kumpulan ini merupakan organisma parasit. Cacing pipih yang hidup bebas mempunyai silium yang banyak dan kehadirannya dapat membantu cacing ini untuk bergerak di atas substrat tasik atau sungai.

Kebanyakan cacing pipih menunjukkan ciri **fototaktik negatif**. Kita boleh menemui cacing-cacing ini bersembunyi di batu-batu dan di celah-celah makrofit di zon litoral yang cetek. Cacing ini hidup secara karnivor dan diet utamanya terdiri daripada moluska gastropod, nimfa *stonefly* dan *mayfly* amfipod dan cacing oligoket. Kelimpahan cacing pipih di persekitaran akuatik boleh dikaitkan dengan produktiviti air dan jumlah makanan yang tersedia ada di zon litoral. Di tasik yang produktif, kita dapati populasi cacing pipih yang lebih besar jika dibandingkan di tasik yang tidak produktif. Hubungan yang sama juga boleh diperhatikan di sungai. Di sungai yang airnya cetek, populasi cacing ini pada umumnya rendah. Keadaan ini wujud kerana suhu di sungai begini boleh bertukar dengan cepat. Cacing pipih lebih gemar menduduki persekitaran yang suhunya boleh dikatakan stabil.

NEMATODA

Nematod atau **cacing gelang** tergolong dalam filum **Aschelminthes**. Cacing gelang seperti *Achromadora*, *Monhystera* dan *Rabditis* merupakan komponen fauna benthik yang penting dan boleh ditemui di semua habitat air tawar (Rajah 9.1).

Di kalangan ahli-ahli nematod, tabiat memakan begitu berbeza sekali. Sesetengah ahli merupakan haiwan detritivor dengan memakan hanya jasad tumbuhan yang mati dan bahan zarah haiwan. Yang lainnya pula bersifat herbivor dengan memakan tumbuhan akuatik. Nematod pemangsa pula memakan haiwan kecil seperti nematod yang lain, protozoa dan cacing oligoket.

Kepadatan nematod yang tinggi boleh ditemui zon litoral tasik oligotrofi. Di zon ini, nematod berkumpul di kedalaman 3 -4 cm di bawah sedimen. Kepadatan nematod berkurang di sedimen profundal tasik eutrofi dan ini disebabkan taburannya dihadkan oleh kepekatan oksigen yang rendah di zon ini.

ANNELIDA

Terdapat dua kumpulan utama anelid atau **cacing bersegmen** yang menduduki habitat air tawar: **Oligochaete** dan **Hirudinea**.

OLIGOCHAETE

Oligoket ialah cacing bersegmen yang bersaiz antara 1 mm hingga 200 cm. tetapi kebanyakan cacing ini yang didapati di persekitaran akuatik bersaiz lebih kurang 5 cm. Bilangan spesies pada umumnya lebih tinggi di tasik yang besar dan ini mungkin disebabkan kewujudan mikrohabitat yang pelbagai

jika dibandingkan dengan tasik yang kecil. Sesetengah spesies hanya ditemui di tasik oligotrofi. manakala yang lainnya boleh ditemui secara meluas di tasik yang mempunyai produktiviti yang berbeza-beza daripada tasik oligotrofi hingga tasik eutrofi.

Beberapa kajian yang telah dijalankan mendapati bahawa terdapat korelasi antara komposisi zarah dan kandungan organik sedimen dengan kelimpahan cacing oligoket. Bilangan cacing ini pada amnya berkurangan di sedimen yang mempunyai saiz zarah yang . besar (0.11 hingga 0.12 mm) jika dibandingkan dengan sedimen yang terdiri daripada zarah yang lebih halus (0.07 -0.08 mm).

Bagi tasik dan sungai yang banyak menerima pencemaran bahan organik. cacing *Tubifex* boleh ditemui dengan banyak. Cacing oligoket ini mempunyai toleransi yang tinggi terhadap keadaan anaerobik yang wujud. Pada amnya, kekurangan oksigen yang terhasil daripada pencemaran organik ini boleh membunuh kebanyakan daripada fauna benthik. Cacing *Tubifex* mempunyai penyesuaian untuk tinggal dalam keadaan tidak beroksigen ini dengan membenamkan kepalanya dalam sedimen. Hanya yang kelihatan ialah bahagian kaudalnya yang mengunjur keluar. Bahagian kaudal ini mengandungi insang pernafasan dan pergerakan bahagian kaudal ini dapat membantu cacing ini menyesuaikan respirasi dengan kepekatan oksigen yang berkurangan. Kebanyakan cacing ini boleh tahan keadaan anaerobik untuk jangka masa sebulan atau lebih.

Sesetengah cacing oligoket memakan sedimen yang mengandungi bahan organik bersama-sama dengan bakteria dan mikroorganisma yang lain (Rajah 9.2). Ada juga yang secara aktif memakan mikroorganisma yang hidup secara epifit di atas makrofit akuatik, manakala yang lain pula memakan alga epipelik.

HIRUDINEA

Pada amnya, hirudinea atau **lintah** ialah organisma ektoparasit yang menghisap darah dan bendalir vertebrat. Ada juga lintah bersifat pemangsa dengan memakan fauna invertebrat seperti oligoket dan larva kironomid.

Kelimpahan hai wan ini berbeza antara satu habitat akuatik dengan habitat akuatik lain. Pada amnya, terdapat korelasi antara kelimpahan lintah dengan produktiviti tasik. Hubungan ini berkaitan dengan kepelbagaian sumber makanan terutamanya daripada populasi invertebrat. Ahli hirudenia yang biasa ditemui di jasad air tawar termasuklah *Piscicila*, *Hirudo* dan *Haemopsis*(Rajah 9.3).

MOLLUSCA

Moluska air tawar boleh dipisahkan kepada dua kumpulan utama: **Gastropoda** dan **Pelecypoda**. Gastropod termasuklah siput dan moluska lain yang mempunyai satu kulit berlingkar (Rajah 9.4). Pada amnya, gastropod tersebar luas di habitat air tawar, muara dan laut. Terdapat dua kumpulan siput air tawar yang boleh dikenali berdasarkan mekanisme pernafasan: (1) **prosobranchia** yang mempunyai insang dan menggunakan gas terlarut (Rajah 9.5) dan (2) **pulmonat** yang mempunyai paru-paru dan menggunakan gas atmosfera (Rajah 9.6). Walaupun mempunyai paru-paru, siput pulmonat masih boleh berada di dalam air untuk jangka masa yang lama. Siput ini boleh bemafras melalui membran jasad semasa di dalam air. Kewujudan dan kelimpahan gastropod dipengaruhi oleh pH, kepekatan karbonat, oksigen terlarut dan makanan. Kebanyakan spesiesnya memakan tumbuhan, manakala yang lain merupakan omnivor .

Pelesipoda ialah moluska yang ditutupi oleh dua kulit berkalsit. Tergolong dalam kumpulan ini ialah **kepah** dan **tiram** yang kebanyakannya hidup di habitat marin. Pelesipoda boleh ditemui dengan banyak di habitat akuatik yang mempunyai substrat yang stabil serta bebas daripada pencemaran dan di air yang jernih. Ini adalah disebabkan jasad haiwan ini terbenam di dalam sedimen dengan sifonnya mengunjur ke luar (Rajah 9.7). Melalui sifon masuk, air dihisap dan makanan ditapis oleh insang dan silium. Pencemaran lodak akan mempengaruhi kadar pemakanan haiwan ini. Makanan pelesipoda terdiri daripada detritus zarah dan mikrobentos.

Di air tawar, jumlah spesies yang banyak boleh ditemui di sungai besar, dan kumpulan yang kerap ditemui ialah daripada famili **Sphaeridae** (*pea clam*) dan **Unionidae** (kupang). Rajah 9.8 menunjukkan beberapa ahli Pelecypoda (dwicangkerang) yang boleh ditemui di persekitaran air tawar.

INSECTA

Serangga membentuk lebih 75% daripada spesies haiwan. Setakat ini, sebanyak 800 000 spesies serangga telah ditemui dan kebanyakannya hidup di habitat daratan. Bilangan serangga ataupun peringkat larva yang menduduki persekitaran air tawar adalah kecil dan dianggarkan kira-kira 25 000 spesies. Sebahagian daripada serangga akuatik seperti kumbang air mendiami habitat akuatik sepanjang hayat, manakala yang lainnya seperti pepatung tinggal di air hanya untuk peringkat tertentu dalam kitar hidup serangga.

Serangga akuatik menunjukkan pelbagai bentuk dan tabiat. Kumpulan serangga yang biasa ditemui di habitat akuatik termasuklah Hemiptera (pijat), Ephemeroptera (*mayfly*), Plecoptera (*stonefly*), Odonata (pepatung), Diptera (sera, nyamuk) dan Coleoptera (kumbang) (Jadual 9.3).

Berdasarkan perkembangan daripada telur kepada dewasa, serangga boleh di kelaskan kepada dua kategori utama. Serangga dalam kategori pertama menunjukkan metamorfosis lengkap, iaitu telur akan menetas kepada peringkat larva. Larva ini kemudiannya bertukar kepada peringkat pupa sebelum menjadi dewasa. Diptera, Trichoptera dan Coleoptera menunjukkan **metamorfosis lengkap**. Hemiptera, Odonata, Plecoptera dan Ephemeroptera pula melalui proses **metamorfosis tidak lengkap**. Telur serangga daripada kategori kedua ini akan menetas kepada peringkat nimfa. Secara luaran, nimfa menyerupai cc serangga dewasa dan bertambah besar setiap kali bersalin kulit.

PLECOPTERA (*stonefly*) .

Serangga Plecoptera merupakan penghuni biasa di sungai dan tasik dan diwakili oleh peringkat nimfanya. Nimfa serangga ini seperti *Isoperla*, *Capnia*, *Pteronarcys* dan *Chloroperla* merupakan serangga yang bergerak lambat dan selalu didapati di celah-celah batu dan makrofit (Rajah 9.9). Secara luaran, nimfa *stonefly* menyerupai nimfa *mayfly* kecuali mempunyai dua apendaj ekor dan tidak mempunyai insang trakea di bahagian abdomen. Seseengah lalat batu ialah karnivor, manakala yang lainnya ialah herbivor ataupun detritivor.

ODONATA (pepatung jarum dan pepatung)

Di air tawar, serangga Odonata diwakili oleh peringkat nimfanya. Peringkat ini boleh dikenali dengan perkembangan **labium** yang berbentuk seperti topeng (Rajah 9.10). Nimfa Odonata mempunyai rahang yang kuat dan besar dan merupakan organisma pemangsa yang memakan berbagai-bagai

jenis haiwan. Odonata seperti *Argia*, *Macromia*, *Anax* dan *Pachydiplax* merupakan penghuni tasik yang biasa ditemui, manakala *Erpetogomphus* dijumpai khusus di sungai. Di kebanyakan tasik dan sungai, nimfa Odonata menjadi sumber makanan utama kepada ikan.

EPHEMEROPTERA (*mayfly*)

Nimfa *mayfly* biasa ditemui di kebanyakan sungai dan tasik yang mempunyai oksigen yang mencukupi. Nimfa serangga ini boleh dikenali dengan kewujudan insang trakea di bahagian abdomen dan dua atau tiga filamen kaudal (Rajah 9.11). Peringkat nimfa mungkin berpanjangan hingga beberapa tahun, manakala peringkat dewasa begitu pendek sekali (3 hingga 4 hari). Nimfa Ephemeroptera boleh ditemui di dasar sungai, di celah-celah batu atau tumbuhan akuatik. *Pseudocloeon*, *Baetis*, *Hexagenia* dan *Ephemera* merupakan *mayfly* yang biasa ditemui di tasik dan serangga ini membuat lubang di dasar. Nimfa Ephemeroptera ialah organisma herbivor.

HEMIPTERA (pijat)

Serangga Hemiptera pada amnya hidup di darat, hanya beberapa spesies sahaja yang mempunyai penyesuaian untuk tinggal di habitat akuatik. Serangga ini seperti *Belostoma*, *Paskia*, *Sigara* dan *Diaprepopsis* boleh hidup di dasar dan juga berenang aktif dalam air tasik dan sungai (Rajah 9.12). Bagi spesies serangga ini yang tinggal di air, respirasi dilakukan melalui kulit. Serangga Hemiptera ini boleh dikenali dengan pengubahsuaian kepek anterior kepada selaput bertanduk yang keras. Bahagian mulut juga diubahsuai kepada rostrum yang membantu serangga ini menghisap cecair tumbuhan. Ada juga spesies yang tidak mempunyai kepek.

Hemiptera seperti *Ranatra*, *Hydrometra* dan *Gerris* berkemampuan untuk bergerak bebas di lapisan interfasa udara-air yang terbentuk daripada tegangan permukaan.

TRICHOPTERA (*Caddisfly*) .

Caddisfly pada umumnya boleh melengkapkan kitaran hidup dalam masa setahun. Serangga ini bertelur di celah-celah tumbuhan atau di substrat yang terendam. Telurnya akan berkembang kepada larva dalam masa satu atau dua minggu. Kebanyakan larva *caddisfly* membina sarung yang cantik. Sarung ini biasanya berbentuk kon memanjang atau silinder dan dibina daripada pasir, batu, serpihan daun dan ranting (Rajah 9.13). jenis sarung boleh digunakan untuk mengecam serangga ini terutamanya pada peringkat famili. Ada juga yang membina jaring untuk memerangkap mikroorganisma dan zarah detritus di sungai. Peringkat larva kemudiannya bertukar kepada peringkat pupa selepas beberapa peringkat instar. Peringkat pupa berpanjangan untuk beberapa minggu dan selepas itu pupa meninggalkan sarung dan muncul sebagai dewasa.

COLEOPTERA

Berbagai-bagai jenis serangga Coleoptera boleh ditemui di persekitaran akuatik. Pada umumnya, peringkat larva dan dewasa boleh ditemui di habitat akuatik, manakala peringkat pupa di habitat daratan. Serangga dewasa mempunyai kepak belakang yang bersifat membran (Rajah 9.14). kebanyakan larva seperti *Hyphydrus*, *Hybius* dan *Dytiscus* merupakan organisma pemangsa, manakala yang lainnya memakan tumbuhan atau detritus (Rajah 9.15).

DIPTERA

Tergolong dalam order ini ialah lalat, nyamuk, *blackfly* dan *cranfly*. Walaupun peringkat dewasa tidak menduduki habitat akuatik, namun sebahagian besar hayat serangga ini dihabiskan di persekitaran akuatik sebagai larva dan pupa. Larva Diptera menunjukkan kepelbagaian yang tinggi dari segi morfologi (Rajah 9.16). Larva Diptera penting bukan sahaja kerana merupakan sumber makanan ikan yang utama tetapi juga kerana beberapa serangga Diptera merupakan vektor penyakit. Serangga seperti nyamuk membawa penyakit malaria dan penyakit kuning, manakala *blackfly*, *Simulium* membawa cacing filaria yang menyebabkan penyakit buta.

Larva Diptera yang kerap ditemui di kebanyakan persekitaran akuatik ialah larva *Chironomus*. Larva kecil ini berwarna hijau dan memakan detritus dan alga. Dalam keadaan yang rendah kepekatan oksigen, serangga ini berwarna merah pekat. Warna merah ini terhasil daripada pigmen hemoglobin yang disintesis apabila kandungan oksigen berkurangan. Larva *Chaoborus* pula merupakan organisma pemangsa zooplankton dan kerap dijumpai di tasik yang kaya dengan bahan organik sehingga 25mm di dalam sedimen. Larva *Chaoborus* lutsinar kecuali untuk dua mata hitam dan pundi udara gelap di bahagian anterior.

PENGUKURAN DAN PENSAMPELAN

Cara paling mudah untuk menganggarkan bilangan bentos di dasar sungai atau kolam terutamanya yang cetek adalah dengan menggunakan **jaring Surber** (Rajah 9.17). bagi air yang dalam, beberapa alat pencekup atau

pengorek tanah seperti **pengorek Ekman** boleh digunakan. Pencekup dijatuhkan ke dasar dari atas bot dan alat ini akan mencekup sedimen yang diketahui jumlah isipadunya.

Organisma bentik tidak sentiasa kekal di dasar dan kaedah untuk mengganggu fasa kitaran hidup yang berhijrah telah diperkenalkan. Sebagai contohnya, banyak penghuni dasaran meninggalkan kawasannya dan bergabung membentuk komuniti hanyutan. Pada kebiasaannya, kebanyakan haiwan bentos yang tinggal di kawasan arus kuat mempunyai satu bentuk penyesuaian sama ada mempunyai struktur melekap pada batu dan permukaan keras ataupun bersembunyi di belakang batu yang kurang deras arusnya. Walau bagaimanapun, haiwan ini kadang-kadang masih boleh dibawa oleh arus dan dihanyutkan ke hilir. Bilangan haiwan hanyutan boleh dianggarkan dengan menggunakan jaring yang mempunyai bingkai yang bersaiz tertentu. Bilangan yang diperoleh per unit masa boleh dinilai dan sekiranya kelajuan arus dan luas bingkai diketahui, maka bilangan per unit isipadu air boleh dianggarkan.

Fenomenon hanyutan bukan sahaja berlaku tanpa disedari, tetapi ada juga yang dilakukan secara tetap. Ini adalah cara untuk haiwan sedentari menakluki kawasan baru di hilir ataupun memberi satu bentuk emigrasi apabila populasi yang sedia ada terlalu padat.

Satu lagi bentuk emigrasi diwakili oleh peringkat nimfa dan larva yang berkembang kepada peringkat dewasa yang berkepak. Individu yang berkepak ini akan meninggalkan persekitaran akuatik dan kadar berlakunya penghijrahan ini boleh dianggarkan dengan menggunakan perangkap.

Untuk melakukan penganalisan haiwan bentos yang berkesan, beberapa masalah perlu dikenal pasti dan diatasi. Pertama ialah masalah untuk mendapatkan sampel kuantitatif. Disebabkan ketidakseragaman substrat.

bentos menunjukkan sebaran secara berkelompok dan tidak sekata. Untuk mendapatkan gambaran sebenar tentang taburan bentos, maka pensampelan perlu merangkumi kawasan yang luas dan banyak replika perlu didapati.

Organisma yang didapati kemudiannya perlu diasingkan dengan teliti daripada substrat. Pengecaman organisma juga menimbulkan masalah kerana taksonomi beberapa kumpulan adalah sukar dan tidak lengkap. Emigrasi dan penghijrahan populasi terutama daripada serangga memerlukan kaedah pensampelan yang lebih rapi. Walaupun terdapat masalah, penganalisan yang teliti dan terperinci akan dapat memberi gambaran tentang saling tindak antara persekitaran dengan organisma yang berlaku di komuniti haiwan benthik.

Bab 10

Nekton

Berbeza dengan plankton, komuniti nekton (*nektos* = berenang) terdiri daripada organisma yang daya pergerakannya berkembang dengan baik. Disebabkan kemampuan ini, nekton boleh menentukan kedudukannya dan sebarannya tidak bergantung pada arus atau ombak. Seperti yang telah dibincangkan dalam Bab 8, komuniti plankton dikuasai oleh haiwan kumpulan invertebrat. Komuniti nekton pula boleh dikatakan dikuasai oleh haiwan kumpulan vertebrat. Dari segi bilangan dan spesies, ikan membentuk sebahagian besar daripada komuniti nekton. Di samping itu, setiap kumpulan vertebrat yang lain (Amphibia, Reptilia, Aves dan Mamalia) mempunyai wakil di persekitaran akuatik. Ahli limnologi masih tidak bersependapat sama ada vertebrat selain daripada ikan boleh digolongkan sebagai komuniti nekton. Percanggahan ini timbul memandangkan bahawa haiwan selain daripada ikan tidak menggunakan persekitaran akuatik

sepanjang masa tetapi hanya pada ketika tertentu ataupun hanya pada peringkat umur tertentu.

Amfibia boleh dikatakan bersifat akuatik dalam beberapa segi memandangkan haiwan ini memerlukan air untuk aktiviti perkembangannya terutama sekali pada peringkat muda. Di kalangan reptilia pula, beberapa spesies kura-kura dan ular telah memperoleh kebolehan untuk berenang di air. Namun begitu, haiwan-haiwan ini masih merupakan haiwan daratan kerana kura-kura dan ular masih perlu tinggal di darat untuk bernafas dan bertelur. Begitu juga buaya yang masih mendiami beberapa batang sungai di Malaysia pada amnya hanya menguasai kawasan pinggir persekitaran akuatik dan lebih bersifat semiakuatik. Burung dan mamalia (*beaver*, *muskrat*, *mink* dan memerang) boleh juga digolongkan sebagai nekton sekiranya istilah nekton diterjemahkan untuk merangkumi segala haiwan yang mampu berenang di permukaan walaupun secara sementara. Terdapat beberapa spesies burung yang bergantung hidup terhadap persekitaran akuatik, dan burung ini boleh digolongkan sebagai burung akuatik. Burung-burung ini mampu berenang dengan baik untuk mencari makanan di air di samping menjalankan aktiviti lain. Sama seperti burung, mamalia akuatik menggunakan jasad air hanya pada masa tertentu dan tidak secara berterusan. Sebahagian besar hayat haiwan-haiwan ini dihabiskan di daratan.

Di kalangan invertebrat pula, terdapat beberapa kumpulan serangga mempunyai peringkat muda atau dewasa yang mampu berenang bebas. Berdasarkan takrifan, organisma ini juga tergolong dalam kumpulan nekton.

IKAN DI PERSEKITARAN AKUATIK

Memandangkan ikan membentuk sebahagian besar komuniti nekton, maka wajarlah diberi penekanan terhadap biologi ikan dalam membicarakan

komuniti nekton. Dari segi komposisi, ikan di kawasan tropika sungguh berbeza daripada ikan di kawasan temperat. Bukan sahaja terdapat lebih banyak bilangan spesies, malahan sesetengah famili ikan ini ditemui hanya di kawasan tropika. Di Brazil sahaja terdapat lebih daripada 1400 spesies ikan, manakala di Eropah hanya mempunyai 192 spesies ikan. Di Semenanjung Malaysia, terdapat 56 famili ikan air tawar dengan 382 spesies (Jadual 10.1). Kumpulan utama ikan di Semenanjung Malaysia adalah terdiri daripada famili **Cyprinidae, Cobitidae, Siluridae, Anabantidae** dan **Bagridae**. Jadual 10.2 menunjukkan beberapa spesies ikan yang mewakili setiap famili.

Nic yang boleh dieksploit oleh ikan begitu banyak dan komuniti ikan menunjukkan pengkhususan untuk memenuhi cara hidup setiap kumpulan. Setiap ruang tasik dari permukaan hingga dasar pada kebiasaannya boleh didiami oleh populasi ikan. Kedudukan mulut ikan pada amnya boleh memberi gambaran tempat populasi ikan mencari makanan. Ikan yang mempunyai mulut ventral dan mempunyai badan yang leper secara dorsoventral pada amnya merupakan **peragut dasaran**, manakala yang bermulut terminal dan mempunyai badan yang leper secara lateral memakan di perairan luas. Kebanyakan **ikan pemangsa** mempunyai badan lalu arus yang nyata dan ciri ini penting untuk ikan bergerak dengan pantas. Ikan yang hidup di celah-celah batu pula mempunyai badan yang leper dan kelihatan seperti belut.

Memandangkan ikan boleh ditemui pada sebarang aras trofik, iaitu daripada ikan yang memakan fitoplankton hingga kepada ikan yang memakan ikan, maka kepentingan komuniti ini begitu ketara sekali. Ikan juga turut memainkan peranan penting kepada jaringan **makanan detritus** dengan memakan detritus atau invertebrat benthik. Pada amnya, ikan-ikan di habitat akuatik boleh digolongkan berdasarkan ruang kepada dua kumpulan utama.

Ikan yang pada kebiasaannya mencari makanan di bahagian bentik dikenali sebagai ikan **demersal**, manakala ikan yang memakan di perairan terbuka dikenali sebagai ikan **pelagik**. *Osteochilus*, *Amblyrhynchichthys*, *Mystus* dan *Labiobarbus* merupakan ikan demersal, manakala *Puntius*, *Wallago*, *Ompok* dan *Hampala* merupakan ikan pelagik.

Dari segi sumber makanan, komuniti ikan boleh dibahagikan kepada enam kumpulan utama (Rajah 10.1). Pada amnya, ikan pelagik menggunakan plankton sebagai sumber nutrien (**peragut plankton** atau **planktivor**) atau memakan ikan kecil yang lain (**pemangsa ikan** atau **piskivor**). Ada juga ikan pelagik yang memakan serangga (**pemangsa invertebrat**) seperti yang ditunjukkan oleh ikan **sumpit**, *Toxotes jaculatrix*. Ikan ini dapat menjatuhkan serangga ke dalam air dengan menyempitkan satu pancutan air.

Cara pemakanan ikan bentik pula agak umum kerana kebanyakan ikan mendapat makanan daripada detritus organik (**peragut substrat** atau **detritivor**) atau peragut tumbuhan akuatik (**herbivor**). Walau bagaimanapun, terdapat juga ikan demersal yang memakan invertebrat. Ikan **omnivor** merupakan ikan yang tidak mempunyai diet tertentu. Ikan ini boleh memakan sama ada tumbuhan, invertebrat dan juga detritus.

Untuk hidup dengan baik, kepadatan sesuatu spesies ikan perlulah dalam lingkungan **muatan pembawaan** ekosistem. Sekiranya saiz populasi ikan begitu besar, maka keseluruhan sistem boleh musnah. Populasi ikan terutamanya yang bersifat prolifik pada amnya boleh dikawal oleh ikan pemangsa. Ikan **toman** (*Channa micropeltes*) dan ikan **haruan** (*Channa striatus*) ialah dua contoh ikan pemangsa di sistem akuatik di Malaysia. Tanpa ikan ini, populasi ikan-ikan di aras trofik yang lebih rendah boleh bertambah dengan begitu mendadak dan akhirnya saiz populasi boleh melebihi muatan pembawaan. Perlu diingatkan bahawa diet setiap populasi

ikan pada amnya berubah mengikut peringkat umur. Walaupun pada peringkat remaja ikan pemangsa memakan ikan, tetapi pada amnya ikan-ikan ini pada peringkat awal memakan organisma mikroskopik seperti rotifer, protozoa dan plankton yang lain.

Ikan planktivor selalunya memakan zooplankton, tetapi ada juga yang memakan fitoplankton. Sebagai contohnya, **ikan tilapia** (*Oreochromis niloticus*) pada amnya memakan alga biru-hijau, *Microcystis aeruginosa*. Pada kebiasaannya, alga biru-hijau ini sukar dicerna. Namun begitu, ikan tilapia ini mempunyai asid di perutnya yang dapat membantu mencernakan alga biru-hijau.

Bagi ikan detritivor, detritus yang terbentuk daripada daun mati, pucuk daun dan bahan organik lain (termasuklah lumpur dan selut) merupakan sumber utama nutrien. Detritus ini juga menyediakan habitat untuk bakteria, kulat, protozoa, larva serangga dan cacing yang juga merupakan diet sampingan ikan detritivor. Ikan keli (*Clarias*) dan ikan kap (*Cyprinus*) ialah dua jenis ikan peragut yang mempunyai mulut di bahagian ventral dan penyesuaian ini memudahkan ikan untuk memakan detritus. .

Beberapa spesies ikan seperti **ikan kap rumput** (*Ctenopharyngodon*) dan **ikan sepat** (*Trichogaster*) membentuk kumpulan peragut tumbuhan akuatik dan alga berfilamen. Kehadiran ikan-ikan ini dapat membantu dalam pengawalan populasi tumbuhan ini di sesuatu jasad akuatik.

Daripada Rajah 10.1, didapati bahawa kebanyakan ikan di sistem tasik merupakan **peragut plankton**; manakala di ekosistem sungai, ikan **pemangsa invertebrat** membentuk populasi utama. Perbezaan cara pemakanan ini selari dengan status komuniti plankton yang lebih penting di persekitaran tasik. Persekitaran tasik yang tenang dengan air yang bertakung menyediakan habitat yang sesuai untuk perkembangan plankton.

Pergerakan air satu arah di sungai pula tidak menggalakkan perkembangan plankton langsung, tetapi sebaliknya menggalakkan perkembangan komuniti invertebrat.

PENGUBAHSUAIAN HAIWAN NEKTON

PENGAPUNGAN

Pengubahsuaian untuk mengekalkan diri terapung di air dan juga pengubahsuaian untuk bergerak dengan pantas sangat penting bagi nekton. Pada amnya, jasad ikan lebih berat daripada air dan mudah tenggelam. Bagi plankton, pengapungan dapat dicapai dengan mengurangkan jumlah tulang rangka atau bahagian badan yang keras. Namun begitu, pengubahsuaian begini tidak dapat dilakukan oleh ikan memandangkan ikan memerlukan rangka yang kuat untuk sistem ototnya beroperasi dengan baik. Sistem otot yang baik akan membolehkan ikan meluncur di air.

Kebanyakan ikan bertulang terutamanya spesies aktif mempunyai ketumpatan badan kira-kira 5% lebih berat daripada air. Untuk mencapai keapungan neutral, kebanyakan ikan ini mempunyai **pundi renang**. Pada kebiasaannya, pundi ini diisi dengan gas nitrogen dan oksigen. Struktur ini yang mungkin membentuk 5 -10 peratus daripada isipadu ikan bertindak mengurangkan berat ikan dan membolehkan ikan mengekalkan keapungan neutral. Kebanyakan ikan boleh mengawal atur jumlah gas dalam pundi dan seterusnya mengubah tahap pengapungan. Apabila ikan berenang ke permukaan, pundi gas akan diisi dengan gas dan ini memberikan **pengapungan positif** kepada ikan. Sekiranya ikan tersebut berenang ke dasar, maka gas akan dikurangkan daripada pundi dan ikan dikatakan mempunyai **pengapungan negatif**. Walau bagaimanapun, semasa berada di dalam air, ikan perlu mengekalkan sifat **pengapungan neutral** supaya tidak

timbul atau tenggelam. Satu lagi mekanisme untuk meningkatkan pengapungan adalah dengan mengumpulkan lipid (minyak atau lemak) di dalam badan. Lipid lebih ringan daripada air dan dapat menyumbangkan pengapungan pada ikan. Jumlah lipid yang banyak boleh ditemui dalam kebanyakan ikan terutamanya ikan yang tidak mempunyai pundi udara. Lipid boleh berkumpul di otot, organ dalaman dan juga rongga badan.

Di samping menggunakan cara statik untuk mengekalkan atau meningkatkan pengapungan, terdapat juga nekton yang memperlihatkan **mekanisme hidrodinamik** untuk menghasilkan pengapungan tambahan ketika berenang. Cara yang biasa digunakan melibatkan pembentukan permukaan yang boleh mengampu bahagian anterior (yang dihasilkan oleh sirip pektoral), dan kewujudan ekor heteroserkal. **Ekor heteroserkal** ialah bentuk ekor yang mempunyai lobus atas yang lebih besar dan lebih berkembang daripada lobus bawah (Rajah 10.2). Semasa bergerak, nekton yang mempunyai ekor sedemikian rupa menerima satu tolakan ke atas. **Sirip pektoral** pula bertindak seperti aileron yang apabila diarahkan pada satu sudut tertentu akan membolehkan ikan bergerak ke atas.

PERGERAKAN

Memandangkan air merupakan medium yang sangat berat, maka sesuatu objek sukar bergerak di dalam air, apatah lagi untuk bergerak pantas. Haiwan bergerak untuk membaiki atau menggunakan keadaan sekeliling secara optimum untuk kemandiriannya. Secara khusus, pergerakan dilakukan untuk mendapatkan makanan, mengelakkan diri daripada pemangsa, membiak, berhijrah, memberi udara pada insang dan sebagainya. Penyesuaian struktur atau kelakuan yang membolehkan ikan berenang dengan penggunaan tenaga yang sedikit bermakna lebih banyak

tenaga boleh disalurkan untuk peningkatan pertumbuhan dan pembiakan. Ini memberi peluang kepada ikan untuk membaiki potensi pembiakannya.

Pergerakan boleh dicapai melalui beberapa cara. Tetapi bagi nekton yang berenang pantas dan cekap di air, dua ciri sepunya boleh diperhatikan badan lalu arus dan organ **rejangan** yang berkesan.

BADAN LALU ARUS

Untuk dapat meluncur di dalam air dengan pantas, nekton perlu menempuhi tiga bentuk rintangan. **Rintangan geseran** terbentuk daripada saling tindakan permukaan badan ikan dengan air di sekelilingnya. Jika rintangan geseran ini sahaja yang perlu diatasi, bentuk yang unggul ialah sfera kerana bentuk ini menghasilkan nisbah luas permukaan dengan isipadu nekton yang minimum (Rajah 10.2). Walau bagaimanapun, ikan yang meluncur melalui air tidak hanya perlu mengatasi rintangan geseran sahaja. Semasa ikan bergerak ke hadapan, jumlah air yang bersamaan dengan saiz luas keratan rentas ikan perlu disesar untuk membenarkannya maju ke hadapan. Untuk mengatasi **rintangan bentuk** ini, ikan harus mengambil bentuk silinder halus yang panjang. Bentuk ini mempunyai luas keratan rentas yang kecil.

Satu lagi jenis rintangan yang perlu diatasi oleh nekton ialah **rintangan pergolakan**. Pergolakan terbentuk daripada pengaliran cecair secara berlapis melintasi permukaan badan nekton. Pengaliran yang lancar ini akan terganggu dan bertukar kepada *vortice* atau *eddies*. Ini meningkatkan rintangan terhadap pergerakan. Rintangan ini boleh dikurangkan sekiranya nekton mempunyai bentuk seperti titisan air mata, iaitu berbentuk agak tumpul di hadapan dan semakin meruncing di bahagian belakang. Bentuk

ini juga merupakan satu kompromi yang terbaik untuk mengurangkan rintangan geseran dan rintangan bentuk (Rajah 10.2)

REJANGAN

Daya yang diperlukan untuk menggerakkan haiwan nekton meluncur di air diwujudkan oleh beberapa bahagian badan haiwan tersebut. **Pergerakan beralun** badan atau sirip (terutamanya sirip kaudal) merupakan cara yang biasa digunakan. Boleh dikatakan semua populasi ikan memperlihatkan pergerakan ini. Melalui mekanisme ini, ikan menggerakkan bahagian posterior badan dan sirip ke kiri dan ke kanan. Pergerakan ke kiri dan ke kanan ini dihasilkan oleh pengecutan otot secara berselang-seli. Apabila dianalisis daya yang terhasil daripada pergerakan ini, maka kita dapati komponen daya ke hadapan paling besar. Maka, ikan akan bergerak ke arah ini.

Rejangan yang besar boleh tercapai dengan membesarkan sirip kaudal. Walau bagaimanapun, peningkatan saiz sirip juga turut meningkatkan rintangan geseran. Satu indeks yang digunakan untuk menentukan kecekapan sirip ialah **nisbah aspek**:

$$\text{Nisbah aspek} = \frac{\text{Keluasan sirip}}{(\text{ketinggian sirip})^2}$$

Keluasan sirip

Sirip kaudal kebanyakan ikan boleh digolongkan kepada lima kategori am: bulat, trunkat, bercabang, lunat dan heteroserkal (Rajah 10.3). Setiap kategori mempunyai nisbah aspek yang berbeza.

Ikan yang mempunyai sirip kaudal berbentuk bulat mempunyai nisbah aspek yang sangat rendah. Sirip begini sangat berkesan untuk memecut atau melakukan tindakan pergerakan yang lain. Sirip trunkat dan bercabang mempunyai nisbah aspek pertengahan. Sirip begini menghasilkan rintangan yang kurang dan pada amnya ditemui pada ikan yang bergerak pantas.

Sirip lunat mempunyai nisbah aspek yang tinggi dan sangat berkesan untuk mengurangkan rintangan pada kelajuan tinggi. Ikan yang bersirip lunat pada amnya berenang sangat cepat.

IKAN DI SUNGAI

Dalam bab yang lalu, kita dapati bahawa sungai diwakili oleh satu siri habitat yang pelbagai dari hulu ke hilir. Berdasarkan kecerunan, morfometri dan kelajuan air, sungai boleh dicamkan kepada tiga kategori utama: **zon atas**, **zon tengah** dan **zon bawah**.

Secara amnya, **sungai zon atas** dicirikan oleh kelajuan air yang tinggi dan kaya dengan oksigen. Dasar sungai pula terdiri daripada batu-batu yang agak besar. Bilangan spesies ikan di zon ini tidak banyak dan ikan yang kerap ditemui di sini termasuklah ikan *Rasbora sumatrana*, *R. heteromorpha*, *Puntius gonionotus*, *P. binotatus*, *Hampala macrolepidota*, *Tetraodon lineatus*, *Wallago attu* dan *Channa micropetrolus* (Rajah 10.4).

Persekitaran di **sungai zon tengah** adalah pelbagai dan zon ini dicirikan oleh kelajuan air yang perlahan dan terdapat pepejal terampai yang tinggi. Di zon ini, bilangan ikan semakin bertambah dan ini berkaitan dengan peningkatan sumber makanan, kawasan berenang dan tempat persembunyian. Sungai di zon ini lebih lebar dan dalam. Kadar pemendakan zarah seni yang tinggi membolehkan bahagian sungai ini menyokong biojisim ikan yang lebih

besar. *Notopferus chifala*. *Punfius schwanenfeldii*. *Osfeochilus hasselfi*. *Labiobarbus lepocheillus*. *ysfus nemurus*. *M.viffafus*, *Ompok bimaculafus* dan *Krypfopferus bicirrhis* merupakan beberapa spesies ikan yang boleh didapati di zon ini.

Sungai zon bawah ialah bahagian sungai yang berhampiran muara dan zon ini selalunya dicirikan oleh kandungan lodak yang tinggi. Pergerakan air di sini perlahan dan dipengaruhi oleh pasang surut laut. Para nelayan biasanya kerap mendapat ikan seperti *Megalops cyprinoides*. *Pellona kampeni*. *Coilia borneensis*. *Lares calcarifer*, *Tachysurus sagor* .*Apogon aureus* dan *Masfacembelus armafus* di bahagian muara sungai.

IKAN DI TASIK

Disebabkan kebanyakan tasik bersambung dengan ekosistem sungai secara langsung atau- pun tidak, maka kita dapati spesies ikan di tasik hampir menyerupai spesies di sungai. Spesies ikan yang hanya didapati di tasik adalah sedikit sahaja. Antaranya termasuklah ikan puyu (*Anabas testudineus*). ikan keli (*Channa striatus*), ikan ketutu (*Oxyleotris marmoratus*), ikan sepat ronggeng (*Trichogaster trichopterus*) dan ikan pelampung jaring (*Puntius tetrazona*) (Rajah 10.5).

Dalam banyak perkara, habitat tasik lebih stabil daripada habitat sungai. Ini bermakna penghasilan bahan autoktonus memainkan peranan penting dalam menyokong keseluruhan sistem. Penghasilan fitoplankton yang tinggi boleh digambarkan oleh biojisim ikan jenis peragut plankton yang tinggi.

PENSAMPELAN

Jenis dan jumlah ikan yang wujud di persekitaran akuatik merupakan indeks yang penting dan bermakna bagi kualiti air. Ini memandangkan komuniti ikan menduduki berbagai-bagai aras dalam jaringan makanan. Kelimpahan populasi ikan bukan sahaja dipengaruhi oleh perubahan fizikal dan kimia persekitaran tetapi juga oleh jenis dan jumlah organisma lain yang wujud di habitat.

Pencemaran air memberi kesan yang besar terhadap fisiologi ikan. Sesetengah ikan mempunyai penyesuaian untuk tinggal di air tercemar, manakala yang lainnya begitu peka terhadap pencemaran walaupun pada tahap sederhana. Beberapa spesies ikan sangat rentan terhadap aras oksigen yang rendah atau suhu yang tinggi. Jadi, buangan dari kawasan pertanian, industri dan perlombongan boleh mempengaruhi populasi ikan di tasik dan sungai secara tidak langsung dengan mempengaruhi faktor oksigen dan suhu.

Pada satu sudut yang lain, pencemaran terutamanya pencemaran nutrien boleh meningkatkan penghasilan ikan. Pembuangan bahan-bahan organik secara sederhana boleh meningkatkan aras nutrien di habitat dan seterusnya boleh meningkatkan tanaman dirian populasi ikan. Walau bagaimanapun, keadaan yang menggalakkan ini hanyalah untuk beberapa spesies ikan sahaja dan boleh mewujudkan keadaan ketidakseimbangan populasi ikan. Kehadiran bahan cemar mungkin akan membunuh ikan secara langsung, mengurangkan kemampuan pembiakan atau meningkatkan jangkitan penyakit.

Kematian ikan dengan banyak pada sesuatu ketika merupakan petanda berlakunya perubahan persekitaran secara mendadak. Perubahan ini berlaku dengan begitu pantas sehingga ikan-ikan tidak sempat untuk mengelak dan menjauhkan diri daripada sumber pencemaran. Pencemaran mungkin berbentuk memliih dan hanya membunuh sesuatu kumpulan ikan. Ini dapat

dikesan daripada perubahan komposisi ikan dan kelimpahan relatif sesuatu spesies. Hanya ikan yang mempunyai penyesuaian terhadap persekitaran baru yang terbentuk akan terus kekal di habitat, manakala yang lainnya akan mati.

Pada amnya, kajian populasi ikan melibatkan (1) pengecaman spesies yang wujud, (2) kelimpahan relatif dan kelimpahan mutlak setiap spesies, (3) taburan saiz, (4) kadar pertumbuhan, (5) taraf kesihatan, (6) kejayaan pembiakan, (7) boleh dimakan atau tidak, (8) kelakuan ikan, dan (9) analisis tisu untuk menentukan aras pencemaran. Langkah pertama dalam kajian populasi ikan ialah pengecaman ikan-ikan yang ditangkap. Pengenalan ikan pada amnya berdasarkan kepada ciri luaran seperti saiz dan bentuk sirip, bentuk badan secara menyeluruh dan ukuran kepala dibandingkan dengan panjang badan. Kadang-kadang pemeriksaan gigi atau organ dalaman perlu dilakukan untuk mengesahkan ikan. Warna juga boleh membantu dalam pengecaman tetapi pengecaman berdasarkan warna perlu dilaksanakan dengan berhati-hati memandangkan warna ikan boleh berubah mengikut tempat dan masa. Banyak ikan memperlihatkan kemampuan untuk menukar warna badannya apabila didedahkan kepada persekitaran yang berbeza. Di samping itu, perbezaan warna juga berlaku berdasarkan peringkat kematangan atau umur ikan. Kemampuan ini disebabkan oleh kewujudan granula pigmen yang boleh ditemui pada kulit ikan.

Ikan selalunya diawet dengan **formalin** dan disimpan dalam **alkohol**. Spesimen yang besar perlu dibuang perutnya untuk mengelakkan pereputan dalaman. Sisik ikan digunakan untuk menentukan umur dan kadar pertumbuhan kebanyakan ikan. Umur ikan yang tidak bersisik boleh dianggarkan berdasarkan keratan lintang vertebra atau tulang belakang. Untuk menentukan kesan keracunan bahan cemar yang tertentu terhadap

ikan, **prosedur bioassai** boleh digunakan. Saling tindakan dengan komponen ekosistem yang lain boleh diselidik dengan melihat kandungan perut ikan. Banyak maklumat boleh diperolehi dengan hanya melihat perut ikan.

Ikan boleh ditangkap dengan menggunakan pukot, alat tangkapan ber elektrik, bahan kimia, pancing, jala dan bubu. Satu masalah utama dalam pentafsiran ikan yang ditangkap dengan kaedah-kaedah ini berkisar terhadap masalah **kepemilihan alat** dan masalah **pergerakan ikan**. Kepemilihan alat bermaksud kejayaan sesuatu jenis alat untuk menangkap hanya spesies yang tertentu atau saiz ikan yang tertentu. Faktor utama dalam menentukan pemilihan alat ialah habitat yang disampel dan kecekapan alat. Walaupun kecekapan alat boleh dipertingkatkan, namun pensampelan masih sukar dilakukan kerana taburan komuniti ikan tidak rawak.

Berbagai-bagai jenis bahan kimia boleh digunakan untuk mengurus atau mengganggu populasi ikan. Racun-racun yang kerap digunakan termasuklah **Rotenone, Toxaphene, Cresol, kuprum sulfat** dan **natrium sianida**. Walau bagaimanapun, penggunaan Rotenone lebih digemari daripada racun-racun yang lain. Selain lebih selamat kepada pengguna, kesan Rotenone lebih berkekalan. Pada kepekatan dua hingga lima mg per liter, Rotenone boleh membunuh kebanyakan ikan dan invertebrat dengan mengganggu metabolisme oksigen organisma. Bahan kimia ini juga bersifat pilihan kerana hanya membunuh ikan yang mempunyai keperluan oksigen yang tinggi. Ikan yang terkena racun ini akan timbul di permukaan dan boleh dikumpulkan dengan menggunakan tangguk. Bagi sistem sungai, racun diberi di hulu sungai yang kemudiannya akan dibawa oleh arus ke hilir. Pengumpulan ikan boleh dilakukan dengan memasang jaring di bahagian bawah sungai. Penggunaan racun sebagai teknik pengurusan perlu

dilakukan dengan berhati-hati kerana penggunaannya yang tidak terkawal boleh mengurangkan kepelbagaian spesies ikan.

Kaedah jaring telah digunakan secara meluas dalam kajian limnologi untuk mensampel populasi ikan di tasik dan sungai. Bagi jasad air yang jernih, jaring pada kebiasaannya dipasang pada waktu malam untuk mengelakkannya daripada dikesan oleh ikan. Jenis dan saiz ikan yang ditangkap bergantung pada saiz jaring yang digunakan. Lebih besar saiz jaring yang digunakan, lebih besarlah saiz ikan yang ditangkap. Ikan akan terperangkap semasa cuba melalui jaring dan selalunya bahagian insang, gigi atau rahang akan tersangkut di jaring.

Kaedah penangkapan ber elektrik merupakan kaedah yang berkesan di sungai dan tasik yang cetek. Arus elektrik yang dibekalkan oleh generator atau bateri akan membentuk medan elektrik antara elektrod positif dan negatif. Ikan yang melalui medan elektrik ini akan mendapat **kejutan elektrik**. Pada kebiasaannya, ikan yang menerima kejutan elektrik akan pulih semula dengan segera. Oleh itu, pengecaman, pengukuran saiz, pengukuran berat dan kerja-kerja menanda ikan boleh dilakukan pada setiap ikan yang menerima kejutan elektrik dan kemudian dilepaskan kembali ke air. Untuk mengganggu populasi dan pergerakan ikan, **teknik tanda-tangkap semula** boleh digunakan. Ikan yang ditangkap akan diberi tanda atau dipotong sedikit sirip dan kemudian dilepaskan. Selepas suatu masa tertentu, ikan-ikan akan ditangkap semula. Daripada jumlah ikan bertanda yang berjaya ditangkap untuk kali kedua, anggaran keseluruhan populasi dapat dibuat.

Pancing merupakan kaedah yang telah digunakan sejak zaman berzaman oleh manusia untuk menangkap ikan. Walaupun penggunaan pancing lambat, namun kaedah ini berguna untuk mengumpulkan ikan di habitat akuatik. Dengan menggunakan mata pancing yang berlainan saiz dan berbagai-bagai jenis umpan, kebanyakan ikan di persekitaran akuatik dapat

ditangkap. Kaedah-kaedah lain yang boleh digunakan untuk menangkap ikan termasuklah penggunaan **bubu, belat, rawai, pukot** dan **jala**.

Walaupun terdapat berbagai-bagai jenis alat yang boleh digunakan untuk menangkap ikan. tidak ada satu pun alat yang boleh menangkap semua jenis ikan di sesuatu persekitaran akuatik. Gabungan berbagai-bagai alat menangkap ikan perlu dilakukan untuk meng- hasilkan sampel yang boleh dianggap sebagai mewakili habitat yang dikaji.

Bab 11

Makrofit Akuatik

Istilah makrofit akuatik bermaksud tumbuhan makroskopik (ke1ihatan pada mata kasar) yang biasanya hidup atau sekurang-kurangnya memulakan kitaran hidup di jasad air. Istilah ini walaupun sering digunakan untuk tumbuhan vaskular, tetapi juga merangkumi spesies alga besar seperti *Chara* dan *Nitella*, spesies lumut seperti *Fontinalis* dan spesies paku pakis seperti *Azolla* dan *Salvinia* (Rajah 11.1). Disebabkan keperluan cahaya, tumbuhan ini pada amnya ditemui di perairan cetek dan selalunya menghasilkan daun terapung. Banyak juga spesies yang hidup tenggelam di air sepanjang hayatnya. Sesuatu jasad air yang banyak menghasilkan tumbuhan akuatik pada amnya boleh menyokong berbagai-bagai jenis hidupan lain memandangkan makrofit dapat menyediakan makanan dan juga tempat perlindungan untuk organisma-organisma ini.

Di persekitaran semula jadi, tumbuhan akuatik membiak melalui penghasilan **biji benih** ataupun secara **vegetatif**. Makrofit akuatik biasanya menghasilkan biji benih dengan banyak. Fragmentasi atau pemisahan jasad tumbuhan kepada segmen kecil yang boleh membentuk individu baru

merupakan pembiakan vegetatif yang kerap ditunjukkan oleh flora akuatik ini. Selain itu, pembiakan vegetatif juga melibatkan organ khusus seperti **rizom, pokok rayap, ubi** dan **umbisi**. Ubi pada amnya kaya dengan makanan simpanan dan merupakan sumber makanan yang penting untuk hidupan air. Ubi ini kadangkala begitu unik dan boleh digunakan sebagai salah satu ciri diagnosis untuk pengecaman spesies tumbuhan air.

PENGELASAN

Berbagai-bagai sistem pengelasan telah dicadangkan dan digunakan. Dalam buku ini, makrofit akuatik dibahagi kepada empat kumpulan utama berdasarkan cara pelekapan tumbuhan pada substrat. Pengelasan mudah ini yang dicadangkan oleh **Arber** (1920) sangat berguna bukan sahaja dalam kajian morfo1ogi dan fisiologi tetapi juga kajian ekologi.

MAKROFIT MUNCUL

Makrofit muncul terdiri daripada tumbuhan akuatik yang berakar umbi di pinggiran lembap di habitat akuatik. Makrofit akuatik ini merupakan tumbuhan semi-akuatik yang tidak memerlukan bekalan air yang banyak, malah air yang banyak boleh membunuh tumbuhan ini. Oleh itu, tumbuhan ini kadangkala boleh ditemui jauh dari gigi air. Tumbuhan ini pada amnya tinggi dengan rizom menjalar yang panjang. Rizom ini berperanan mencengkam tanah dan mengukuhkan kedudukan tumbuhan di dasar yang lembut.

Sesetengah spesies menghasilkan mata tunas yang banyak pada rizom dan daripada mata tunas ini terhasil komuniti tumbuhan muncul yang padat. Kepadatan komuniti tumbuhan ini membentuk keadaan semak-samun yang

boleh dilihat di kebanyakan habitat akuatik. Tumbuhan muncul yang kerap ditemui di habitat akuatik dan menunjukkan cara hidup berkelompok secara padat termasuklah *Phragmites communis*, *Typha angustata*, *Sagittaria sagittifolia* dan beberapa spesies *Scirpus* (Rajah 11.2).

Typha angustata atau lebih dikenali sebagai **banat** di Malaysia mempunyai taburan yang meluas di dunia dan hidup dengan subur terutamanya di kawasan paya. Rizom tumbuhan muncul ini kaya dengan kanji dan boleh digunakan oleh manusia sebagai makanan. **Rumput gedabung** atau *Phragmites communis* merupakan tumbuhan saka yang mempunyai stolon dan rizom menjalar. Tumbuhan ini selalunya membentuk komuniti yang padat di pinggir sungai, kolam, tasik dan paya. Dari segi ekologi, kawasan yang ditumbuhi tumbuhan ini penting sebagai tempat perlindungan untuk hidupan liar. Di beberapa tempat di dunia seperti di Rumania dan Poland, *Phragmites* dituai dengan banyak untuk digunakan dalam industri kertas dan bahan kimia.

Daripada lebih kurang 250 spesies *Scirpus* di seluruh dunia, terdapat beberapa spesies yang bersifat akuatik. Spesies ini termasuklah *Scirpus grossus* (**rumput menerong**) dan *Scirpus mucronatus* (**rumput kerecut**), dua jenis rumput yang kerap kali ditemui di sawah padi. Selain daripada menghasilkan biji benih, *Scirpus* membiak dengan cepat melalui ubi dan stolon.

Sagittaria sagittifolia atau lebih dikenali sebagai keladi air menghasilkan tiga jenis daun: **jenis tenggelam** (bak rumput), **jenis terapung** (berbentuk ovat) dan **jenis muncul** (bak anak panah). Jenis daun yang dihasilkan bergantung pada keadaan persekitaran. Tumbuhan yang hidup di kawasan yang redup misalnya, akan membentuk daun bak rumput. *Sagittaria* mempunyai taburan yang meluas dan pada amnya membiak dengan cara fragmentasi ubi ataupun biji benih.

MAKROFIT DAUN TERAPUNG

Jika dibandingkan dengan makrofit akuatik bersifat semi-akuatik yang dibincangkan sebelum ini, tumbuhan daun terapung pula merupakan tumbuhan akuatik yang sebenar. Tumbuhan ini memerlukan air yang secukupnya untuk hidup. Makrofit ini hidup dengan subur di kawasan cetek dan berakar umbi di dasar tetapi mempunyai daun terapung di permukaan air. Makrofit daun terapung yang biasa di persekitaran akuatik termasuklah *Nelumbo nucifera*, *Nymphoides indica* dan *Nymphaea lotus*. (Rajah 11.3).

Nelumbo nucifera atau lebih dikenali sebagai **teratai** mempunyai bunga berwarna putih kemerahan yang kembang pada waktu pagi. Teratai boleh dijumpai di kawasan yang cetek di pinggir tasik, longkang dan tali air di sawah. Malahan, di **Tasik Chini** yang mempunyai kedalaman purata dua meter, tumbuhan ini boleh dijumpai di tengah tasik terutamanya pada musim kemarau. Sebaran tumbuhan ini adalah melalui umbisi dan biji.

Nymphaea lotus atau **kelipok** mempunyai rizom yang terbenam dalam lumpur dan daripada struktur ini muncul daun-daun yang terapung di permukaan air. Seperti juga dengan kebanyakan tumbuhan akuatik yang lain, lapisan atas daunnya dilindungi oleh satu lapisan lilin yang berfungsi menghalang air daripada terkumpul pada daun. Di lapisan atas daun inilah terdapat stoma. Bunga putih yang terbentuk di permukaan air didebungakan oleh serangga.

Satu lagi spesies daun terapung yang selalu ditemui di tasik ialah telipuk (*Nymphoi. des indica*). Tumbuhan ini boleh dikenali daripada bunga kecil yang berwarna putih dan mempunyai bulu halus di tepi korola. Pembiakannya cepat melalui organ vegetatif dan biji benih.

MAKROFIT TENGGELAM

Makrofit jenis ini berbeza daripada makrofit muncul memandangkan keseluruhan jasad tumbuhan ini berada di dalam air. Bahagian bawah batang, rizom dan akar makrofit tenggelam terbenam dan mencengkam dasar, manakala bahagian atas batang termasuklah daun dan bunga sentiasa digenangi air. Pada amnya, tumbuhan ini wujud dalam kumpulan yang padat dan tebal di dasar. Namun begitu, kehadirannya jarang-jarang dirasakan memandangkan kedudukannya jauh di dasar.

Tumbuhan jenis tenggelam mendapat keseluruhan bekalan oksigen dan karbon dioksida daripada air di sekeliling. Bagi bekalan nutrien pula, tumbuhan ini memperolehnya sama ada daripada air atau pada lumpur di dasar. Maka, akar tumbuhan ini boleh memainkan peranan sebagai organ penyerap nutrien di samping sebagai organ pelekap.

Spesies tumbuhan daripada kumpulan ini begitu banyak dan masing-masingnya menunjukkan ciri yang pelbagai. **Lelumut** (*Hydrilla verticillata*) merupakan spesies yang paling mudah ditemui di Malaysia (Rajah 11.4). Lelumut boleh ditemui di tali air longkang, tasik dan sungai yang mengalir dengan perlahan. Tumbuhan tenggelam ini mempunyai batang yang panjang lagi lampai. Daun-daunnya yang nipis tersusun secara lingkaran di sekeliling batang. Lelumut boleh berkembang dengan cepat melalui cara vegetatif. Pucuknya yang patah boleh berkembang menjadi tumbuhan yang baru dan kemampuan ini menjadikannya sebagai rumpai yang boleh merosakkan habitat akuatik.

Blyxa echinosperma kerap ditemui di air yang mengalir dengan perlahan ataupun di air yang bertakung. Tumbuhan ini mampu berbunga dan berbuah sepanjang tahun. Makrofit tenggelam ini tidak mempunyai batang dan

daunnya teratur secara pusar. Di Malaysia. tumbuhan ini dikenali sebagai **rumput lumut**.

Myriophyllum verticillatum ialah tumbuhan yang menarik. Daunnya yang halus membentuk lingkaran di sepanjang batangnya. Tumbuhan ini boleh ditemui di kawasan khatulistiwa dan juga temperat. *Myriophyllum* membiak secara vegetatif dan juga melalui biji benih. Kehadiran tumbuhan tenggelam ini dengan banyak di persekitaran akuatik menghalang kegiatan memancing di kawasan tersebut.

MAKROFIT TERAPUNG

Tumbuhan jenis ini hidup terapung dengan bebas di permukaan air. Tumbuhan ini biasanya mempunyai akar. tetapi akar hanya tergantung di dalam air dan tidak mencengkam dasar. Selain daripada berfungsi untuk menyerap air dan unsur terlarut, akar juga berperanan sebagai organ pengimbang. Di Malaysia. semua makrofit terapung dikenali dengan nama umum **kiambang**.

Keladi bunting (*Eichhornia crassipes*) ialah contoh yang baik bagi tumbuhan jenis kiambang (Rajah 11.5). tumbuhan ini dapat terapung dengan bantuan pangkal petiolnya yang gelembung berisi udara. Disebabkan sifat gelembung inilah tumbuhan ini mendapat nama tempatannya. Keladi bunting bukanlah tumbuhan asal di Malaysia. Bunganya berwarna ungu yang cantik dan kerana kecantikan bunganya, maka tumbuhan ini telah diperkenalkan di kebanyakan negara termasuk Malaysia. Kini, kehadiran tumbuhan ini dengan banyak di habitat akuatik telah menimbulkan masalah besar kerana mengurangkan kegunaan habitat akuatik kepada manusia. Tasik yang dipenuhi oleh tumbuhan ini tidak boleh digunakan lagi untuk kegiatan rekreasi dan juga untuk tujuan pelayaran.

Sebagai sejenis tumbuhan terapung, kewujudan *Eichhornia crassipes* tidak bergantung pada dasar. Pada amnya, taburan kiambang ini dipengaruhi oleh arus dan angin. Oleh itu, keladi bunting pada amnya hidup subur di perairan yang tenang dan juga di celah-celah makrofit muncul yang memberi perlindungan kepada pergerakan air.

Salvinia dan *Azolla* ialah tumbuhan bukan vaskular daripada kumpulan paku pakis (Rajah 11.5). *Salvinia* (**kiambang kecil**) mempunyai tiga lingkaran daun. Dua lingkaran daunnya terapung dengan permukaan atas terdedah kepada udara. Lingkaran daun ketiga pula tenggelam dan dipecahkan kepada segmen bak daun. Pada lingkaran daun yang tenggelam ini terdapat **sorus** yang ditutupi oleh **indusium**. *Azolla* ialah paku pakis terapung yang kecil. Akarnya ringkas dan daunnya teratur dalam dua barisan di sepanjang batang lobus atas yang terapung dan lobus bawah yang tenggelam. Di dalam rongga kecil pada lobus atas biasanya boleh ditemui **alga biru-hijau**, *Anabaena azollae* yang mampu mengikat nitrogen udara. Sepasang sorus boleh ditemui pada lobus bawah dan sorus ini dilindungi oleh indusium.

Lemna minor atau **kiambang halus** mempunyai talus yang kecil dan tidak mempunyai batang. Daun atau talusnya mempunyai ukuran antara 1.5 hingga 4 mm. Daripada bahagian bawah talus terju1ur akar yang pendek ke dalam air. Akar ini berfungsi sebagai organ penyerap nutrien dan gas terlarut dalam air. Di bahagian atas talus pula terdapat stoma yang mampu menyerap oksigen dan karbon dioksida daripada udara. Walaupun *Lemna minor* bersaiz kecil, namun kehadirannya yang banyak boleh menjadikan tasik seolah-olah ditutupi oleh hamparan permaidani hijau.

Sejenis tumbuhan akuatik jenis terapung yang menarik ialah *Utricularia aurea* yang terapung di bawah sedikit daripada permukaan air. Tumbuhan ini tidak mempunyai akar sebenar, namun cabang-cabang dengan daun bak rerambut kelihatan seperti akar. Kebanyakan spesiesnya mempunyai pundi

kecil pada daun. Pundi ini berperanan untuk menangkap organisma akuatik yang kecil. Secara tempatan, tumbuhan terapung ini dikenali sebagai **lumut ekor kucing**.

PENYESUAIAN MAKROFIT AKUATIK

Kehadiran makrofit akuatik dengan banyak di pinggir habitat akuatik memperlihatkan betapa sesuainya habitat ini kepada pertumbuhan tumbuhan ini. Habitat akuatik menyediakan satu persekitaran unik yang memberikan kebaikan istimewa.

Apakah kebaikan yang boleh diberikan oleh persekitaran akuatik kepada tumbuhan yang menduduki pinggir tasik atau sungai? Satu kebaikan yang nyata adalah dari segi kesediaan bekalan air. Tidak seperti tumbuhan daratan, tumbuhan akuatik pada amnya jarang-jarang terdedah kepada bahaya kekurangan air. Di samping itu, tumbuhan akuatik juga tidak menghadapi masalah mendapatkan nutrien kerana persekitaran tasik pada amnya boleh membekalkannya dengan banyak. Bagi tumbuhan yang tenggelam, air di sekeliling menyediakan satu persekitaran yang stabil kerana perubahan suhu di dalam air lebih kecil jika dibandingkan daripada persekitaran di darat.

Di samping mempunyai kebaikan, persekitaran akuatik juga menimbulkan beberapa masalah kepada tumbuhan untuk hidup di jasad air. Sebagai contohnya, pendebungaan bunga merupakan masalah bagi tumbuhan tenggelam. Tumbuhan juga menghadapi masalah untuk mendapatkan bekalan oksigen di kawasan yang digenangi air. Untuk mengatasi masalah ini dan seterusnya berjaya hidup di ekosistem akuatik, makrofit akuatik memperlihatkan beberapa penyesuaian sama ada secara morfologi mahupun fisiologi.

Bagi tumbuhan tenggelam misalnya, tisu penyokong telah dikurangkan memandangkan ciri-ciri air mampu memberikan pengapungan kepada tumbuhan ini. Pada amnya, tumbuhan ini memperlihatkan jasad yang lembut. Daun yang tenggelam pula selalunya berbentuk reben dan halus yang bertujuan untuk mengurangkan rintangan terhadap pergerakan air di samping meningkatkan kawasan untuk penyerapan.

Tumbuhan akuatik memerlukan unsur pertumbuhan yang sama seperti tumbuhan daratan, tetapi cara mendapatkannya berbeza-beza. Bahan-bahan makanan seperti nitrat, fosfat, sulfat dan karbonat wujud dengan banyaknya dalam bentuk terlarut di air. Jadi, bahan-bahan makanan ini diserap bukan sahaja melalui akar, tetapi juga diserap melalui keseluruhan permukaan tumbuhan yang tenggelam di bawah air. Oleh sebab itulah epidermis makrofit akuatik tidak mempunyai kutikel yang bertujuan untuk memudahkan proses penyerapan.

Karbon dioksida dan oksigen yang sangat diperlukan juga diperoleh daripada air. Namun begitu, kandungan oksigen begitu sedikit di dalam air. Di dalam lumpur pula, kandungan oksigen boleh dikatakan tiada langsung. Untuk mengatasi masalah respirasi, terdapat spesies makrofit yang menyimpan udara dalam ruang di dalam batang, daun atau akar. Ruang udara ini selalunya bersambung antara satu bahagian dengan bahagian yang lain dan bertujuan untuk memastikan bekalan oksigen yang mencukupi untuk setiap tisu.

Untuk mengatasi masalah pendebungaan pula, makrofit akuatik pada amnya menjalankan proses pembiakan secara aseks, iaitu melalui fragmentasi atau akar stok.

TABURAN MAKROFIT AKUATIK

Habitat akuatik jarang-jarang terdedah kepada turun naik suhu atau kekurangan bekalan air. Namun begitu, terdapat perbezaan dari segi nutrien terlarut, warna, kejernihan dan juga dasar. Variasi antara satu tasik dengan tasik yang lain tidak menghalang tumbuhan akuatik yang bersifat kosmopolitan seperti *Potamogeton*, *Najas*, *Alisma*, *Sagittaria*, *Lemna*, *Ceratophyllum*, *Myriophyllum* dan *Utricularia* untuk hidup. Tumbuh-tumbuhan ini menunjukkan toleransi yang tinggi terhadap variasi yang terdapat di persekitaran akuatik dan boleh ditemui di tasik yang berbeza dari segi kimia, fizikal dan biologi.

Beberapa spesies tumbuhan akuatik pula hanya hidup di persekitaran akuatik yang khusus memandangkan keperluannya yang khusus. Taburannya yang terhad mungkin disebabkan oleh faktor seperti suhu, kedalaman, ciri fizikal dasar, kuantiti dan kualiti nutrien terlarut ataupun disebabkan oleh persaingan dengan makrofit akuatik yang lain. Taburan tumbuhan akuatik terutamanya daripada jenis terapung juga dipengaruhi oleh tindakan dinamik (ombak dan arus). Kawasan pengaliran air yang minimum merupakan kawasan yang banyak ditumbuhi oleh tumbuhan ini.

Dalam penganalisan kualiti air, beberapa spesies makrofit boleh digunakan sebagai tumbuhan penunjuk kepada keadaan pencemaran sama ada pencemaran logam berat mahupun pencemaran organik. Banyak kajian yang telah dijalankan menunjukkan bahawa terdapat perubahan flora yang ketara di habitat akuatik yang tercemar dengan teruk jika dibandingkan dengan persekitaran semula jadi. Selain daripada melihat perubahan komposisi spesies, makrofit akuatik juga dianalisis untuk menentukan kadar pengambilan bahan cemar di dalam tisu. Tumbuhan seperti *Potamogeton*, *Nuphar*, *Myriophyllum* dan *Elodea* kerap kali digunakan dalam kajian ini.

PENGUMPULAN SAMPEL

Pengumpulan makrofit akuatik pada umumnya tidak sukar memandangkan saiz yang besar dan terletak di pinggir habitat akuatik. Teknik serupa yang digunakan untuk mengambil sampel tumbuhan daratan boleh digunakan. Makrofit mungkin boleh dicam terus kepada peringkat genus ketika di lapangan dan kadangkala hingga kepada peringkat spesies. Sebahagian spesimen boleh dikeringkan dan dibuat spesimen herbarium untuk pengecaman spesies yang sukar. Untuk mengumpulkan spesimen di perairan yang cetek, pengumpulan menggunakan tangan atau **pencakar** boleh dilakukan. Berbagai-bagai jenis pencekup seperti **pencekup Ekman** juga boleh digunakan untuk air yang dalam.

Bagi kajian kuantitatif, **kaedah grid kuadrat** boleh digunakan. Segala tumbuhan yang terdapat di dalam kuadrat dikumpulkan dengan tangan atau menggunakan pencakar panjang. Bahan yang diperolehi ditimbang untuk menentukan berat basah ataupun dikeringkan dalam oven pada 103°C sehingga mencapai berat yang malar. Keputusan pada kebiasaannya diungkapkan sebagai gram berat kering per meter padu.

KEPENTINGAN MAKROFIT

Makrofit litoral memainkan peranan ekologi yang besar. Di samping merupakan sumber makanan secara langsung kepada haiwan seperti ikan, tumbuhan ini juga menyediakan substrat yang penting untuk pelekatan terutamanya bagi alga epifit dan haiwan melekap seperti diatom, protozoa dan brioza. Komuniti alga yang hidup pada makrofit seterusnya merupakan punca makanan utama untuk invertebrat peragut. Selain itu, makrofit akuatik juga menyediakan tempat bergantung, persembunyian dan tempat berehat bagi beberapa haiwan seperti ikan dan serangga.

Daripada beberapa kajian yang telah dijalankan, didapati bahawa makrofit bukan sahaja mengambil nutrien tak organik daripada air dan sedimen, tetapi juga merembeskan sebatian organik terlarut yang memainkan peranan penting dalam ekonomi tasik. Makrofit juga didapati bertindak sebagai perangkap sedimen dan seterusnya dapat menstabilkan sedimen dasaran dan memperbaiki kejernihan air.

Selain daripada kepentingan ekologi, tumbuhan akuatik ini juga mempunyai kepentingan- an ekonomi. Tumbuhan seperti **kangkung** telah lama digunakan sebagai sayur. Begitu juga dengan bunga **teratai** yang boleh dimakan bijinya. Selain sebagai sumber makanan manusia, makrofit juga digunakan sebagai makanan haiwan seperti lembu dan babi. Dalam kegiatan akuakultur, *Hydrilla* digunakan sebagai bahan makanan ikan terutamanya **ikan kap rumput**.

Bekalan baja di beberapa negara sedang membangun adalah terhad. Banyak rumpai air didapati mengandungi kandungan nitrogen, fosforus dan kalium yang tinggi. Disebabkan itu, rumpai air berpotensi untuk digunakan sebagai baja atau sekurang-kurang bertindak memperbaiki struktur tanah, iaitu peranan yang serupa yang dimainkan oleh humus.

Beberapa ahli sains telah berjaya menghasilkan pulpa dan kertas daripada makrofit akuatik. Pada masa sekarang, penghasilan bahan ini dilaksanakan secara percubaan. Mungkin pada suatu masa nanti, bahan-bahan ini mampu dihasilkan secara komersial. Di samping itu, usaha sedang dipertingkatkan untuk memajukan aktiviti kraftangan yang menggunakan makrofit akuatik. Hasil kraftangan seperti tikar, tudung saji dan beg dari- pada **mengkuang** mempunyai potensi yang tinggi untuk dieksport ke luar negara.

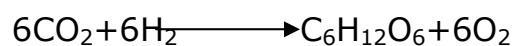
Kewujudan tumbuhan akuatik yang banyak sama ada di tasik mahupun di sungai boleh memberi kesan buruk kepada kehidupan manusia. Disebabkan

itu, tumbuhan ini selalu digolongkan sebagai rumpai. Antara rumpai ini yang mendatangkan masalah besar kepada manusia termasuklah *Eichhornia crassipes* (keladi bunting), *Limnocharis flava* (paku rawan), *Monochoria hastata* (keladi agas), *Nelumbo nucifera* (teratai), *Pistia stratiotes* (kiambang besar) dan *Salvinia molesta* (rumpit apolo). Rumpai ini menimbulkan masalah kesihatan, ekonomi dan ekologi. Kehadiran rumpai ini selalunya dikaitkan dengan penyakit kerana menyediakan habitat yang sesuai untuk vektor penyakit seperti nyamuk dan siput. Pergerakan bot dan sampan juga terganggu dengan kewujudan makrofit yang banyak di ekosistem akuatik, di samping menghalang kegiatan rekreasi seperti berenang dan memancing. Kadar **sejat-transpirasi** didapati berlaku dengan cepat di persekitaran yang dipenuhi rumpai air dan seterusnya menyebabkan kekeringan sesuatu jasad air. Berjuta-juta ringgit perlu dibelanjakan untuk membersihkan rumpai ini di habitat akuatik.

Bab 12

Penghasilan Primer

Asas untuk segala kehidupan di dunia bergantung pada keupayaan tumbuhan hijau untuk menggunakan cahaya matahari untuk mensintesis molekul organik daripada bahan tak organik. Proses ini yang dikenali sebagai fotosintesis boleh digambarkan sebagai persamaan am seperti berikut:



Bagi persekitaran akuatik, asas kehidupan bergantung pada aktiviti fotosintesis yang dijalankan oleh komuniti fitoplankton yang seni. Dalam Bab 1, kita telah melihat bagaimana tumbuhan dan haiwan menyerap bahan dan tenaga secara berterusan. Pada masa yang sama, terdapat kehilangan tenaga dan bahan secara berterusan daripada setiap aras trofik melalui kematian, respirasi dan perkumuhan. Penggabungan bahan dan tenaga

dalam jasad organisma dikenali sebagai **penghasilan**. Penghasilan yang dihasilkan oleh tumbuhan adalah berbeza daripada penghasilan yang dihasilkan oleh organisma heterotrof yang bergantung hidup kepada tumbuhan. Tumbuhan autotrof menukarkan tenaga cahaya kepada tenaga kimia, manakala heterotrof hanya menghimpun dan mencantumkan semula tenaga kimia yang terdapat dalam makanan kepada bentuk kimia yang boleh digunakan oleh tisu organisma heterotrof. Jadi, kita perlu membezakan antara **penghasilan primer** yang dihasilkan oleh tumbuhan dengan **penghasilan sekunder** yang dihasilkan oleh organisma heterotrof.

Penghasilan primer ditakrifkan sebagai kadar pembentukan sebatian organik dari- pada bahan tak organik. Penghasilan primer selalu dianggap sinonim dengan fotosintesis, tetapi pendapat ini kurang tepat memandangkan sejumlah kecil penghasilan primer mungkin dihasilkan oleh bakteria kemosintesis.

Jumlah keseluruhan bahan organik yang ditetapkan semasa proses penghasilan primer dikenali sebagai **penghasilan primer kasar** atau **penghasilan seluruh**. Memandangkan se- bahagian daripada penghasilan seluruh ini digunakan oleh tumbuhan itu sendiri untuk respirasi, maka jumlah bahan organik yang dapat digunakan oleh organisma akuatik yang lain semakin berkurangan. **Penghasilan primer bersih** ialah baki bahan organik yang tidak digunakan oleh organisma autotrof untuk respirasi. Penghasilan bersih boleh diungkapkan sebagai:

Penghasilan bersih = penghasilan kasar -respirasi

Penghasilan bersih untuk jangka masa yang panjang diperlihatkan sebagai **pertumbuhan** tumbuhan. Penghasilan bersih merupakan tenaga atau bahan organik yang boleh disalurkan kepada organisma heterotrof dan seterusnya menyokong aras trofik yang lain.

Pada kebiasaannya, penghasilan primer diungkapkan dalam gram karbon yang ditetapkan per unit kawasan atau isipadu per unit masa. Jadi, penghasilan mungkin dilaporkan dalam gram karbon per meter persegi per hari, g C/m²/tahun atau sebarang unit yang lain.

Penghasilan berbeza daripada tanaman dirian. Tanaman dirian boleh ditakrifkan sebagai jumlah keseluruhan biojisim tumbuhan yang wujud dalam isipadu air yang tertentu pada masa yang tertentu. Perbezaan besar boleh wujud antara penghasilan primer dengan **tanaman dirian**. Perbezaan ini terhasil daripada beberapa faktor yang bertindak sama ada secara langsung atau tidak langsung terhadap proses fotosintesis.

PENGUKURAN PENGHASILAN PRIMER

Terdapat dua kaedah utama yang digunakan untuk mengukur kadar penghasilan fitoplankton

Kaedah botol terang/gelap

Kaedah 14C

Sekiranya kita kembali kepada persamaan proses fotosintesis,



Kita dapati bahawa secara teori kita boleh mengukur kadar penghasilan sebatian organik dengan mengukur kadar penggunaan atau penghasilan sebarang komponen daripada persamaan di atas. Jadi, sekiranya kita boleh mengukur kadar penggunaan karbon dioksida atau penghasilan oksigen, ukuran ini boleh digunakan untuk mengukur kadar fotosintesis.

KAEDAH BOTOL GELAP DAN TERANG

Kaedah klasik ini telah lama digunakan untuk mengukur penghasilan primer. Dalam kaedah ini, dua botol yang serupa digunakan. Satu botol adalah **lutsinar**, manakala botol yang satu lagi **gelap**. Kedua-dua botol digantung pada kedalaman tertentu selama beberapa jam. Botol-botol ini telah diisi dengan air (bersama-sama dengan organisma plankton) yang diambil pada kedalaman yang telah ditentukan terlebih dahulu. Pada akhir kajian, botol-botol ini kemudian dibawa ke makmal untuk menentukan kandungan oksigen terlarut di dalam setiap botol. Perbandingan kandungan oksigen dalam sampel air pada awal kajian dan kandungan oksigen di dalam botol pada akhir kajian akan dibuat. Kandungan oksigen selalunya ditentukan secara pentitratan dengan menggunakan **kaedah Winkler**.

Di dalam botol gelap, tiada fotosintesis berlaku tetapi tumbuhan dan haiwan di dalam botol masih meneruskan proses respirasi dan menggunakan oksigen. Jadi, kandungan oksigen asal di dalam botol ini akan berkurangan memandangkan aktiviti respirasi yang berlaku. Bagi botol yang lutsinar pula, kedua-dua proses fotosintesis dan respirasi berlaku serentak. Namun begitu, kadar fotosintesis melebihi kadar respirasi dan kita akan lihat kandungan oksigen meningkat di dalam botol ini.

Daripada keputusan yang diperolehi, penghasilan kasar boleh diukur. Penghasilan kasar boleh diukur seperti berikut:

Penghasilan kasar = Peningkatan oksigen di dalam botol lutsinar

+ Penurunan oksigen di dalam botol gelap

Masalah yang biasa dikaitkan dengan kaedah ini ialah masalah pengumpulan bahan- bahan metabolik di dalam botol. Selain itu, permukaan kaca botol menyediakan satu bentuk substrat yang sesuai untuk pertumbuhan bakteria.

Perkembangan dan pertumbuhan organisma ini akan meningkatkan kadar respirasi dan menyebabkan kesilapan dalam menganggarkan penghasilan bersih. Kedua-dua masalah ini boleh diselesaikan dengan mendedahkan botol-botol pada jangka masa yang pendek.

Satu lagi masalah ialah berhubung dengan fotorespirasi. Seseengah tumbuhan menggunakan tenaga yang lebih banyak untuk respirasi apabila fotosintesis berlaku. Fenomenon ini dikenali sebagai **fotorespirasi**. Dalam hal ini, respirasi di dalam botol gelap tidak setara secara langsung dengan respirasi di dalam botol lutsinar. Disebabkan keadaan ini, kesilapan boleh berlaku ketika menganggarkan penghasilan kasar. Kita juga perlu mengambil kira bahawa kadar respirasi di dalam botol gelap bukan sahaja mewakili kadar respirasi fitoplankton, tetapi juga respirasi bakteria dan zooplankton yang turut sama terkandung di dalam botol. Daripada kajian yang dilakukan oleh **Lewis** (1974), beliau mendapati bahawa daripada jumlah respirasi organisma yang terampai dalam air, 80% daripadanya disumbangkan oleh fitoplankton, 5% oleh krustasea, 12% oleh protozoa dan 3% oleh bakteria.

KAEDAH ^{14}C

Pada masa ini, kaedah ^{14}C lebih digemari untuk mengukur penghasilan primer kerana jumlah karbon yang disintesis kepada sebatian organik yang baru boleh diukur secara langsung. Dalam kaedah ini, ^{14}C yang beradioaktif dimasukkan dalam sampel air di dalam botol. ^{14}C yang beradioaktif dimasukkan dalam bentuk H^{14}CO_3 (bikarbonat) yang bertindak sebagai sumber karbon. Kuantiti H^{14}CO_3 yang diketahui ditambah dan botol ini kemudiannya dieram untuk satu jangka masa dan kedalaman yang tertentu. Jumlah ^{12}C tidak berlabel yang sedia ada boleh diukur dengan pentitratan

kealkalian dan ukuran pH. Pada akhir masa eraman, botol dinaikkan dan air dituras dengan menggunakan kertas membran untuk mendapatkan organisma fitoplankton semula. Kertas turas seterusnya dikeringkan dan jumlah keradioaktifan pada kertas turas diukur dengan menggunakan **penghitung sintilasi**. Jumlah karbon ditetapkan adalah seperti berikut:

Jumlah ^{14}C diserap = ^{14}C dalam fitoplankton X ^{12}C yang sedia ada

^{14}C yang dimasukkan

Untuk membetulkan kemungkinan ^{14}C diambil oleh organisma bukan fotosintesis, botol gelap dieram bersama-sama dengan botol lutsinar. Penghasilan kasar boleh didapati dengan menolak nilai kiraan daripada botol gelap dengan nilai kiraan yang didapati daripada botol lutsinar. Pertumbuhan bakteria di atas permukaan, seperti yang ditemui untuk kaedah botol terang/gelap juga menimbulkan masalah. Bilangan bakteria yang meningkat akan mempengaruhi kandungan oksigen di dalam botol. Ini boleh membawa kepada kesilapan ketika membuat anggaran penghasilan primer.

Masalah yang agak penting berkaitan dengan kaedah ini ialah kemungkinan terdapat kerosakan sel di atas kertas turas. Disebabkan keadaan ini, ^{14}C boleh hilang. Di samping itu, kaedah ini tidak mengambil kira ^{14}C yang ditetapkan semasa fotosintesis dan seterusnya dibebaskan semasa respirasi sebagai $^{14}\text{CO}_2$. Oleh itu, tiada anggaran untuk respirasi boleh didapati melalui kaedah ini dan terdapat ketidakpastian sama ada kaedah ^{14}C ini sebenarnya mengukur penghasilan kasar atau penghasilan bersih. Namun begitu, kajian yang dijalankan mendapati bahawa pendedahan botol ^{14}C untuk jangka masa pendek akan memberi anggaran untuk penghasilan kasar. Sekiranya masa untuk proses pengeraman dipanjangkan, anggaran untuk penghasilan bersih boleh diperoleh.

TANAMAN DIRIAN

Tanaman dirian mungkin disumbangkan oleh tumbuhan, haiwan atau kedua-duanya sekali: Tanaman dirian terhasil daripada perbezaan antara faktor yang cuba meningkatkan bilangan individu (terutamanya pembiakan dan pertumbuhan) dan faktor yang cuba mengurangkan biojisim atau bilangan (iaitu melalui kematian, tenggelam, ragutan atau pengangkutan lateral). Sekiranya kadar pertumbuhan dan pembiakan melebihi kadar kematian, maka tanaman dirian akan menjadi tinggi.

Pengukuran tanaman dirian secara tepat untuk komuniti fitoplankton di persekitaran akuatik sukar dilakukan disebabkan oleh taburan organisma ini yang berkelompok dan masalah pensampelan. Kaedah yang biasa digunakan untuk mengukur tanaman dirian adalah dengan mengukur komponen sepunya untuk semua tumbuhan. Pada amnya, kandungan klorofil dalam isipadu air diukur. Disebabkan semua tumbuhan mempunyai klorofil untuk menjalani proses fotosintesis, jumlah klorofil dalam sesuatu isipadu air sepatutnya merupakan ukuran langsung jumlah biojisim tumbuhan yang ada. Klorofil boleh diukur dengan mengekstrak klorofil daripada tumbuhan dengan larutan kimia seperti aseton dan kemudiannya mengukur jumlah warna dengan menggunakan **kulometer**.

Kaedah ini menimbulkan beberapa masalah. Kaedah ini mengandaikan bahawa kandungan klorofil adalah malar. Keadaan tidak berlaku kerana kandungan klorofil berbeza-beza bergantung pada spesies fitoplankton dan juga berbeza-beza antara satu sel dengan selain daripada spesies yang sama. Kandungan klorofil juga berbeza-beza mengikut masa dan keamatan cahaya. Masalah yang lebih besar ialah masalah pengekstrakan yang boleh mengubah klorofil itu sendiri.

Sekiranya kita mengukur tanaman dirian populasi fitoplankton setiap hari secara berturutan, kita akan dapati bahawa tidak ada perbezaan besar. Kita boleh beranggapan bahawa tidak ada penghasilan bersih berlaku dari satu hari hingga hari yang berikutnya.

Sebenarnya penghasilan bersih yang bererti wujud, tetapi hanya menggantikan bahagian tanaman yang hilang (terutamanya kerana ragutan dan tenggelam). Maka, hubungan antara tanaman dirian dengan penghasilan bergantung pada kadar **pusing ganti** bahan tumbuhan yang baru dibentuk.

Kadar pusing ganti untuk populasi fitoplankton sangat cepat. Banyak spesies fitoplankton mampu untuk membahagi sekali sehari. Malahan terdapat juga spesies kecil yang berupaya membahagi dua kali sehari. Ini bermakna populasi spesies ini boleh diganti keseluruhannya dua kali sehari. Jadi, secara perbandingannya sedikit bahan tumbuhan wujud dalam air pada sesuatu masa.

Anggaran jangka pendek penghasilan primer atau tanaman dirian tidak memberikan gambaran menyeluruh tentang keamatan dan dinamik penghasilan fitoplankton. Walau bagaimanapun, sekiranya kedua-dua faktor ini diukur serentak, indeks penghasilan boleh didapati:

.Kadar penghasilan primer (P.I.) = Kadar penghasilan primer

Tanaman mandiri

Indeks sedemikian lebih berguna kerana dapat membezakan antara penghasilan populasi fitoplankton yang besar lagi mantap dengan populasi yang kecil tetapi berkembang dengan cepat.

CORAK PENGHASILAN DI SISTEM AKUATIK

Sekiranya kita mengkaji penghasilan primer setiap satu meter dari permukaan hingga dasar dengan menggunakan teknik botol terang/gelap pada hari panas, maka **profil penghasilan dan respirasi** yang serupa seperti digambarkan dalam Rajah 12.1 boleh didapati. Walaupun keamatan cahaya adalah pada tahap maksimum di permukaan, puncak penghasilan biasanya ditemui di zon bawah sedikit dari permukaan (biasanya 2- 3 meter di bawah permukaan). Sinaran yang tinggi di bahagian permukaan air kerap kali merencat fotosintesis. Kadar respirasi maksimum juga mungkin ditemui di kedalaman yang serupa kerana kepadatan organisma yang tinggi boleh ditemui di zon ini. Di bawah zon penghasilan maksimum, terdapat penurunan penghasilan bersih dan penghasilan kasar secara berterusan selaras dengan pengurangan keamatan cahaya. Pengurangan ini berterusan sehingga oksigen yang dihasilkan oleh fotosintesis bersamaan dengan oksigen yang digunakan dalam proses respirasi. Di bawah **zon pampasan** ini, kadar respirasi melebihi kadar fotosintesis.

Kajian yang dijalankan mendapati bahawa penghasilan primer dalam sistem akuatik di kawasan tropika pada amnya lebih tinggi daripada kawasan temperat. Di tasik temperat, kadar penghasilan primer jarang-jarang melebihi 3 gCm^{-2} , tetapi penghasilan primer di tasik tropika boleh mencapai 12 gCm^{-2} . Penghasilan yang rendah di kawasan temperat disebabkan oleh keamatan cahaya atau suhu yang rendah.

FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PENGHASILAN PRIMER

Penghasilan bahan organik secara berterusan oleh fitoplankton bergantung pada beberapa keadaan fizikal, kimia dan biologi yang saling bertindak. Sekiranya nutrien, cahaya, ruang dan parameter yang lain wujud tanpa had,

maka saiz populasi fitoplankton boleh berkembang secara eksponen. Di alam semula jadi, populasi fitoplankton tidak berkembang secara berterusan tanpa disekat. Saiz populasi dikawal sama ada oleh had toleransi faktor persekitaran atau dikawal oleh kesediaan bahan yang diperlukan. Sebarang keadaan yang melebihi had toleransi atau tidak menyediakan bahan keperluan asas organisma akan bertindak sebagai **faktor pengehad**. Faktor pengehad yang utama untuk populasi fitoplankton ialah cahaya, kesediaan nutrien dan ragutan oleh herbivor.

CAHAYA

Fotosintesis boleh berlaku hanya apabila cahaya yang sampai kepada sel alga melebihi keamatan yang tertentu. Ini bermakna taburan fitoplankton dihadkan di zon eufotik yang sempit. Kedalaman jasad air yang boleh dicapai oleh cahaya bergantung pada beberapa faktor yang termasuklah penyerapan cahaya oleh air, jarak gelombang cahaya, kejernihan air, pantulan daripada permukaan air, latitud dan musim.

Beberapa ciri meteorologi turut mempengaruhi cahaya sebelum dapat mencecah permukaan tasik. Faktor seperti awan, debu dan gas bertanggungjawab mengurangkan cahaya yang sampai ke persekitaran akuatik dengan menyerap, memantul dan menyelerak sebahagian daripada cahaya matahari yang tiba.

Fotosintesis yang dijalankan oleh fitoplankton bergantung pada cahaya yang sampai. Pada keamatan cahaya yang sederhana atau rendah, terdapat hubungan langsung antara keamatan cahaya dengan kadar fotosintesis.

Walau bagaimanapun, pada keamatan cahaya yang sangat tinggi (seperti di permukaan tasik pada hari yang panas terik), fotosintesis tidak lagi

mengikuti keluk keamatan cahaya. Dalam keadaan ini, kadar fotosintesis bagi kebanyakan spesies mungkin stabil atau menurun disebabkan oleh perencatan cahaya. Zon ketepuan keamatan cahaya memisahkan zon kekurangan cahaya dengan zon kelebihan cahaya. Pada peringkat ini, kadar fotosintesis tidak lagi meningkat dengan meningkatnya keamatan cahaya. Radas fotosintesis sel fitoplankton telah mencapai peringkat ketepuan cahaya, dan keamatan cahaya yang lebih tinggi di permukaan gagal untuk meningkatkan fotosintesis.

Fitoplankton di persekitaran yang berbeza memperlihatkan penyesuaian tersendiri terhadap keamatan cahaya yang berubah. Maka, ketepuan keamatan cahaya untuk sebarang populasi fitoplankton tidak malar, tetapi berubah dengan berubahnya keadaan persekitaran.

NUTRIEN

Pada amnya, nitrogen (sebagai nitrat, NO_4^-) dan fosforus (sebagai fosfat, PO_4^-) boleh dianggap sebagai unsur utama yang sangat diperlukan untuk pertumbuhan dan pembiakan fitoplankton. Fosforus perlu dalam pembentukan sebatian yang bertenaga tinggi dalam sel, manakala nitrogen penting dalam pembentukan protein. Nutrien organik dan tak organik yang lain mungkin diperlukan dalam jumlah yang kecil, tetapi tidak ada satu pun yang mempunyai kesan yang besar terhadap penghasilan seperti yang ditunjukkan oleh nitrogen dan fosforus. Di sistem air tawar, kedua-dua unsur ini selalunya ditemui dalam kepekatan yang sangat rendah. Maka, fosforus dan nitrogen merupakan **faktor pengehad** untuk penghasilan fitoplankton dalam kebanyakan keadaan.

Antara kedua-dua nutrien ini, yang manakah mampu mengehadkan pertumbuhan organisma fototrof? Di kebanyakan tasik temperat, **fosforus**

telah dibuktikan sebagai faktor pengehad utama kepada penghasilan. Di kawasan tropika pula, kajian telah menunjukkan bahawa nitrogen berkemungkinan lebih utama sebagai faktor pengehad daripada fosforus.

Kedua-dua nutrien ini biasanya wujud dalam kepekatan yang rendah di zon eufotik kerana fitoplankton menggunakannya secara berterusan. Semasa perkembangan populasi fitoplankton yang pesat, kuantiti nutrien yang diperlukan mungkin tidak mencukupi. Dalam keadaan begini, pertumbuhan tumbuhan ditentukan oleh penjanaaan semula nutrien.

PENJANAAN SEMULA NUTRIEN

Sebahagian daripada jasad tumbuhan yang dimakan oleh herbivor digunakan untuk pertumbuhan, manakala sebahagian lagi ditukarkan menjadi bahan buangan. Kebanyakan buangan ini tenggelam di bawah zon eufotik dan berkumpul di bahagian bawah tasik. Nutrien yang lain dikumuhkan sebagai buangan urea dan ammonia pula dikitarkan semula kepada fitoplankton sebaik sahaja dikumuhkan. Penjanaaan semula nutrien bergantung pada proses penguraian bahan organik oleh bakteria dan beberapa kulat yang hidup di turus air dan juga di dasar. Bacteria akan bertindak dan mengurai bahan organik dan mengembalikan fosfat, nitrat dan nutrien yang lain dalam bentuk tak organik yang boleh digunakan oleh penghasil primer. Bacteria juga menyerap sebatian organik terlarut daripada air dan menukarkannya kepada sel hidup. Sel hidup ini menjadi punca makanan tambahan untuk banyak haiwan bentik dan haiwan plankton.

Seperti yang telah dibincangkan dalam Bab 6, kepekatan nutrien yang tinggi boleh di temui di zon afotik. Walaupun kandungan nutrien banyak di bahagian bawah tasik, namun tumbuhan fotosintesis tidak dapat menggunakannya memandangkan bahagian bawah tasik tidak menerima

sinar matahari yang mencukupi dan tidak membenarkan fitoplankton berkembang dengan baik. Maka, kita lihat perkembangan fitoplankton hanya terhad di zon eufotik yang kekurangan nutrien. Kewujudan lapisan termoklin yang kekal tidak membenarkan percampuran air antara kedua-dua bahagian tasik.

Untuk membenarkan percampuran air, proses dinamik perlu wujud untuk menggerakkan air sejuk yang kaya dengan nutrien di bahagian bawah ke zon eufotik. Proses **penyerapan molekul** ke bahagian atas tasik boleh membantu mengembalikan nutrien ke zon atas. Namun begitu, proses ini berlaku dengan perlahan dan nutrien yang dikembalikan begitu sedikit.

Di kawasan tropika dan subtropika, lapisan **termoklin** yang kukuh wujud dan berlanjutan sepanjang tahun. Termoklin juga wujud di kawasan temperat tetapi hanya secara bermusim. Terdapat percampuran air pada musim bunga dan musim luruh. Pada musim luruh, air permukaan mengalami penyejukan dan mulai tenggelam. Ini menjadikan termoklin musnah dan air di bahagian bawah tasik dapat bercampur dengan air permukaan. Keadaan yang sama juga wujud pada musim bunga. Pada masa air permukaan meningkat kepada 4 °C, ketumpatan air adalah paling berat. Ini menyebabkan air di permukaan tenggelam dan menggantikan air yang lebih sejuk di bawah. Proses ini berlanjutan sehingga keseluruhan turus air mempunyai suhu 4 °C. Pada masa ini, lapisan termoklin musnah sama sekali dan terdapat percampuran air.

Walaupun termoklin wujud berkekalan di kawasan tropika dan subtropika, air yang kaya di bahagian bawah tasik boleh digerakkan ke atas oleh air sub permukaan. Proses ini secara kumpulan dikenali sebagai **julang alir**. Julang alir di pinggir pantai dihasilkan oleh angin yang meniup air permukaan menjauhi tebing (Rajah 12.2). Air permukaan ini kemudiannya digantikan

oleh air di bahagian bawah. Pergerakan air ke atas ini bertanggungjawab membawa nutrien ke zon eufotik.

Julang alir juga boleh ditemui di ekosistem muara. Sebahagian daripada air laut yang mempunyai kandungan nutrien yang tinggi mengalir di bahagian dasar muara. Air ini kemudiannya akan bercampur dengan air tawar di permukaan. Proses julang alir di muara mengembalikan nutrien yang sangat dikehendaki oleh penghasil primer di muara.

Satu lagi bentuk julang alir yang boleh ditemui di jasad air ialah fenomena yang dikenali sebagai **peredaran sel Langmuir** (Rajah 12.3). Sel Langmuir terbentuk oleh angin

di permukaan dan boleh dikenali dengan sel perolakan kecil yang berputar pada arah bertentangan. Sel perolakan ini mewujudkan zon *mencapah* (Julang alir ke atas) dan zon *menumpu* (Julang alir ke bawah) yang saling berganti. Fenomenon ini menyebabkan detritus organik dan komuniti plankton boleh terkumpul di garisan menumpu antara dua sel perolakan yang berdekatan. Pengumpulan bahan-bahan ini boleh dilihat dari atas sebagai satu barisan puing terapung yang panjang di permukaan tasik.

Sel Langmuir wujud hanya sejauh beberapa meter dari permukaan air dan tidak begitu penting dalam mengembalikan nutrien daripada air yang lebih dalam. Walau bagaimanapun, sel perolakan ini boleh mewujudkan perangkap nutrien dengan mengumpulkan fitoplankton dan puing zarah dan seterusnya boleh menjadi tarikan untuk zooplankton peragut. Kepadatan zooplankton yang tinggi kerap kali boleh ditemui di sini.

PERAGUTAN

Hubungan trofik antara fitoplankton dengan herbivor kecil di persekitaran akuatik boleh menjadi begitu kompleks. Peragutan boleh mengurangkan tanaman dirian dan seterusnya penghasilan populasi fitoplankton. Dari sudut yang lain, peragutan juga boleh membaiki kesejahteraan fitoplankton dengan mengurangkan persaingan di kalangan fitoplankton, di samping mencepatkan penjana semula nutrien.

Kemampuan zooplankton untuk mengurangkan populasi fitoplankton ditunjukkan dalam JaduaI12.1. Dengan populasi fitoplankton asal sebanyak 1 juta sel/liter dan membiak sekali setiap hari, kepadatan populasi herbivor diselaraskan agar kadar peragutan haiwan ini dapat mengekalkan populasi fitoplankton pada kadar yang malar. Apabila kepadatan populasi zooplankton ditambah dua kali daripada kepadatan asal, populasi fitoplankton dikurangkan kepada lebih kurang 100 000 sel/liter dalam masa tiga hari dan kepada 27 000 sel dalam masa lima hari. Pada kepadatan zooplankton lima kali daripada asal, populasi fitoplankton dikurangkan kepada 240 sel/liter dalam masa tiga hari, dan dalam masa lima hari kepadatan fitoplankton dikurangkan kepada 1 sel/liter.

Dalam keadaan semula jadi, fitoplankton dan zooplankton memperlihatkan **mekanisme suap balik**. Kewujudan fitoplankton yang banyak akan menggalakkan perkembangan zooplankton yang pesat. Walau bagaimanapun, populasi zooplankton yang meningkat ini akan menyebabkan **peragutan berlebihan** berlaku. Peragutan yang berlebihan menyebabkan populasi herbivor menghadapi masalah kekurangan makanan, kebuluran dan seterusnya pengurangan populasi herbivor yang besar ini. Apabila peragutan dikurangkan, populasi fitoplankton boleh pulih semula. Maka, keseluruhan kitaran boleh diulang.

Dalam banyak perkara, terdapat selang masa antara puncak populasi fitoplankton dan puncak populasi zooplankton. Selangan masa bergantung

pada kemampuan pembiakan herbivor terhadap bekalan makanan yang bertambah. Dalam keadaan yang optimum, fitoplankton boleh membiak secara aseks dengan lebih cepat jika dibandingkan dengan populasi zooplankton yang melakukan pembiakan seks. Maka, populasi fitoplankton yang besar boleh terbentuk dahulu sebelum diikuti oleh populasi zooplankton.

Kita telah melihat bagaimana cahaya, nutrien dan peragutan boleh mempengaruhi penghasilan primer. Memandangkan faktor-faktor ini sentiasa berubah mengikut musim, maka kita boleh menjangka perubahan yang sama boleh dilihat untuk penghasilan primer. Pertalian antara faktor-faktor ini dengan penghasilan primer digambarkan seperti dalam Rajah 12.4. pertalian ini dapat menjelaskan fenomena **kembangan alga** yang wujud terutamanya pada musim panas. Pada amnya, fenomena kembangan alga terhasil daripada perubahan bermusim beberapa faktor seperti suhu, air, cahaya, kesediaan nutrien dan juga kadar peragutan.

Bab 13

Manusia dan Pencemaran Persekitaran Akuatik

Air merupakan satu rahmat Tuhan yang besar kepada manusia sejagat memandangkan betapa penting air kepada kehidupan. Kepentingan utama air adalah untuk memenuhi keperluan fisiologi bukan sahaja untuk manusia malahan untuk haiwan dan tumbuhan. Hampir 65 peratus berat manusia dewasa terdiri daripada air. manakala 98 peratus sesetengah jasad obor-obor dibentuk oleh air. Secara amnya, 3/4 daripada berat protoplasma organisma hidup merupakan air semata-mata.

Selain daripada memenuhi keperluan fisiologi, air juga diperlukan untuk meneruskan kegiatan harian manusia. Sebenarnya air merupakan sebahagian daripada persekitaran manusia kerana tamadun manusia sendiri terbentuk dan berkembang di kawasan berhampiran jasad air. Selain daripada minuman, jasad air tawar seperti tasik dan sungai merupakan sumber bekalan air untuk kegunaan domestik. Di kawasan yang tidak mempunyai sistem bekalan air moden, penduduk di situ masih bergantung pada sistem sungai untuk membasuh, mandi-manda dan sebagainya. Sungai dan jasad air yang lain juga menyumbangkan bekalan air kepada sektor pertanian dan industri. Di kawasan yang menerima bekalan air hujan yang terhad, sistem pengairan dibina dalam usaha meningkatkan hasil pertanian. Di sektor industri, air digunakan untuk memenuhi beberapa tujuan. Tiga tujuan asas digunakan oleh sektor ini: pemindahan haba (penyejukan dan pemanasan), penjanaan kuasa dan wap, dan akhir sekali untuk tujuan pemprosesan.

Sejak kebelakangan ini, air semula jadi telah banyak dicemari dengan bahan toksik daripada berbagai-bagai sumber. Selain daripada memberi kesan buruk kepada kesihatan manusia, bahan-bahan toksik ini juga mengurangkan kemampuan sistem air untuk membekalkan sumber protein yang murah untuk masyarakat tempatan. Tasik, sungai, lombong dan jasad air yang lain secara semula jadi merupakan kawasan perikanan yang terdapat berbagai-bagai jenis ikan, krustasea dan moluska yang boleh dimanfaatkan oleh manusia. Sebenarnya, perikanan daripada habitat air tawar ini merupakan sumber pendapatan utama untuk penduduk di negara Dunia Ketiga. **Sungai Juru** di Pulau Pinang suatu ketika dahulu pernah dicemari dengan bahan toksik daripada kilang-kilang di kawasan perindustrian dan hampir memusnahkan kegiatan menternak kerang. Walau bagaimanapun, hasil daripada tindakan cepat dan tegas yang menghalang

daripada persekitaran ini terus dicemari. maka kegiatan menternak kerang ini dapat dipulihkan semula walaupun tidak sepenuhnya.

Jasad air juga menyediakan kawasan untuk masyarakat tempatan menjalankan kegiatan rekreasi. Selain daripada membenarkan kegiatan bersampan, berkelah, berenang dan sebagainya, keindahan semula jadi persekitaran akuatik seperti di tasik dan empangan boleh menjadi daya penarik kepada para pelancong. Di beberapa tempat pula terutamanya di kawasan pedalaman, sungai masih lagi merupakan jalan penghubung antara satu tempat dengan tempat yang lain.

Kita telah melihat betapa pentingnya air untuk manusia. Untuk memenuhi keperluan manusia yang pelbagai ini, air mestilah wujud bukan sahaja dalam kuantiti yang mencukupi tetapi juga berkualiti tinggi. Boleh dikatakan permintaan untuk bekalan air tawar pada masa ini terus meningkat di setiap pelosok dunia. Peningkatan ini bukan sahaja kerana pertumbuhan populasi manusia yang mendadak tetapi juga kerana peningkatan taraf hidup masyarakat.

Kuantiti air sesuatu kawasan bergantung pada taburan hujan. Taburan hujan di dunia pula sangatlah berbeza di satu benua dengan benua yang lain. Sesetengah tempat seperti di khatulistiwa mendapat hujan yang banyak, manakala di kawasan lain pula seperti di gurun menghadapi masalah kekurangan air. Di setiap benua ini pula, hujan memperlihatkan taburan yang berbeza mengikut musim.

Air dalam bentuk tulen jarang-jarang berlaku di alam semula jadi. Sebenarnya, air secara asli mengandungi beberapa bahan terlarut di dalamnya. Ada jenis air yang secara semula jadinya mempunyai kandungan ion yang sedikit. Di samping itu, ada juga air yang sememangnya mempunyai kepekatan bahan terlarut yang tinggi. Jadi, dalam erti kata

sebenarnya tidak ada air yang bersih ataupun tulen di alam semula jadi. Jadi, apakah yang dimaksudkan dengan istilah air bersih atau tidak tercemar? Istilah ini sebenarnya bersifat subjektif. Kualiti air secara saintifik perlu dipandang dari segi kegunaan air itu sendiri. Jadual 13.1 membincangkan secara ringkas kriteria yang digunakan dalam penentuan kualiti air berdasarkan kegunaannya.

Untuk memahami mengapa terdapat perbezaan antara kualiti air semula jadi dengan air yang secara kimianya tulen, maka perlulah kita melihat bagaimana air berkitar di biosfera.

KITARAN HIDROLOGI

Secara am, kitaran air ataupun kitaran hidrologi melibatkan **proses sejatan**, **pemeruapan** dan **presipitasi** (Rajah 13.1). Memandangkan lautan membentuk 70 peratus daripada permukaan bumi, maka sudah tentulah kebanyakan **sejatan** berlaku di lautan. Namun begitu, Sejatan juga terjadi daripada permukaan yang terdedah di bumi dan jasad air yang lain seperti tasik, kolam, sungai, paya dan lombong. Bagi kawasan yang mempunyai tumbuhan, satu bentuk khusus sejatan yang disebut proses **sejat-transpirasi** berlaku. Dalam proses ini, air disejatkan daripada permukaan sel yang lembap dan keluar melalui stoma. Jumlah air yang disejatkan melalui proses ini begitu tinggi sekali. Dianggarkan bahawa daripada 0.4 hektar tanah yang ditanam dengan jagung, sebanyak 2 juta liter air disejat-transpirasikan dalam satu musim penanaman. Bayangkan berapa juta liter air akan dibebaskan ke udara daripada satu kawasan hutan tropika.

Proses sejatan dan sejat-transpirasi lebih merupakan proses pembersihan kerana hanya molekul air meninggalkan bumi. Ion dan molekul yang membentuk garam dalam larutan tidak ikut serta dan kekal di permukaan. Di angkasa, air yang disejatkan akan bergabung dengan nitrogen, oksigen dan molekul air yang lain untuk membentuk wap air. Jumlah wap air yang boleh ditampung oleh udara pada sesuatu ketika bergantung pada suhu udara; lebih panas udara, lebih banyak wap air yang boleh ditampung dan begitu juga sebaliknya.

Air akan kembali ke bumi melalui proses **pemeruapan** dalam bentuk yang dikenali sebagai **presipitasi**. Presipitasi merangkumi bukan sahaja hujan, tetapi juga sebarang jenis lembapan yang turun dari langit yang termasuklah embun dan salji. Taburan presipitasi di dunia berjulat antara sifar hingga tiga meter setahun bergantung pada corak pemanasan atmosfera.

Selain daripada membawa air tawar ke bumi, hujan juga menyerap dan melarutkan sebatian yang terdapat di atmosfera. Secara semula jadi terdapat debu, zarah kotor, habuk, jelaga dan berbagai-bagai zarah dan gas daripada letusan gunung berapi. Kegiatan manusia akan menyumbangkan lagi bahan-bahan ini ke udara. Air hujan yang sampai ke bumi sudah pun mengumpul beberapa bahan dan juga gas. Air hujan juga menyerap haba dan terdedah kepada sinaran di udara. Dalam erti kata yang sebenar, air yang turun dari langit sememangnya sudah tidak bersih secara semula jadi.

Kualiti air seterusnya mengalami perubahan apabila sampai ke bumi dan seterusnya semasa berada di bawah tanah. Semasa presipitasi tiba ke bumi, air mengikuti salah satu daripada dua arah: air mungkin menyerap masuk ke tanah (proses **penyusupan**) atau membentuk aliran di permukaan.

Berapa banyak air yang membentuk aliran dan penyusupan bergantung pada tabii permukaan, kecerunan, kelembatan hujan dan jumlah hujan.

Terdapat hubungan songsang antara penyusupan dengan **aliran**: apabila penyusupan rendah, aliran tinggi dan sebaliknya (Jadual 13.2). Hubungan ini diungkapkan sebagai **nisbah penyusupan/aliran**. Air hujan yang mengalir di permukaan akan bergerak mengikut kecerunan dan terus ke sungai dan akhirnya berkumpul di laut. Semasa proses ini, air menghakis dan membawa bersama kekotoran, butir-butir tanah, sedimen, bakteria dan puing dari permukaan tanah yang dilalui. Ini menjadikan air aliran semakin tercemar dengan bahan semula jadi.

Air yang memasuki tanah boleh ditampung oleh butir-butir tanah atau terus meleleh ke bawah mengikut tarikan graviti. **Air rerambut** yang terbentuk sejauh satu atau dua meter dari tanah ditampung oleh tarikan rerambut. Air ini merupakan sumber air yang boleh digunakan oleh tumbuhan, dan kebanyakan air ini akan kembali ke atmosfera melalui transpirasi dan sejatan secara langsung dari permukaan tanah.

Air yang tidak ditampung oleh butir tanah akan meleleh turun melalui bukaan, liang dan ruang antara molekul air. Oleh sebab dipengaruhi oleh daya tarikan graviti, maka air ini dikenali sebagai **air graviti**. Air ini tidak boleh digunakan oleh tumbuhan. Air ini kemudiannya akan sampai ke lapisan yang tidak boleh ditembusi, dan akan berkumpul di sini untuk membentuk **air bawah tanah**. Air bawah tanah boleh memasuki kitaran air semula melalui mata air atau sebagai lelehan air.

Semasa air graviti bergerak melalui tanah, kualiti air boleh berubah. Walaupun tanah dan batu berliang bertindak sebagai penapis yang mampu mengasingkan bakteria dan puing, namun ion dan molekul yang bersaiz kecil masih tidak boleh ditapis. Malahan, air graviti dan air bawah tanah melarut

dan membawa berbagai-bagai ion dan molekul dari kawasan yang ditempuhinya. Proses melarut ion dan molekul dari batuan dasaran ini dikenali sebagai **larut lesap**.

Mineral yang dilarut lesap memberikan ciri khusus untuk air bawah tanah dan ciri ini bergantung pada geologi tempatan. Sesetengah air bawah tanah mempunyai berbagai-bagai mineral, menyebabkannya mempunyai rasa yang sedap dan boleh diminum. Kadangkala air bawah tanah berbahaya kepada manusia kerana dapat melarut lesap sebatian beracun seperti arsenik dan sulfur dan juga bahan radioaktif. Jelaslah bahawa secara semula jadi sumber air boleh tercemar dengan bahan-bahan yang toksik.

PERUBAHAN KUALITI DAN KUANTITI AIR OLEH KEGIATAN MANUSIA

Sejak kebelakangan ini, kegiatan manusia secara langsung atau tidak langsung mengganggu kuantiti dan kualiti air. Pengaruh manusia terhadap kuantiti dan kualiti air adalah ketara dan kini merupakan isu yang mendapat perhatian dunia. Manusia melalui kegiatan hariannya telah banyak mengubah arah pengaliran air (Rajah 13.2). Aktiviti pertanian, domestik dan industri telah banyak mengakibatkan pengaliran air secara sejatan terus ke atmosfera ataupun pengaliran ke laut melalui sungai atau terusan.

Masalah ini menjadi bertambah buruk dengan tabiat manusia menjadikan sistem air sebagai tempat untuk membuang bahan-bahan yang dihasilkan oleh populasi yang meningkat. Hasil buangan dari kawasan perumahan, perbandaran dan kilang disalurkan ke dalam sungai. Aktiviti perlombongan dan penjanaan tenaga juga menyebabkan perubahan kualiti air yang besar. Kegiatan pertanian seperti penggunaan baja, pestisid dan sistem pengaliran tidak kurang juga bertanggungjawab menyebabkan air tidak boleh

digunakan untuk tujuan- tujuan tertentu khususnya untuk kegunaan minuman.

Dalam membincangkan kitaran air, kita telah melihat keseimbangan antara kadar air hujan yang menyerap masuk ke dalam tanah dengan kadar air yang membentuk aliran. Kegiatan manusia mengubah rupa bentuk permukaan bumi dan menyebabkan kadar aliran meningkat, manakala penyusupan dikurangkan. Paling nyata sekali dalam proses pembandaran, kadar aliran dipertingkatkan dengan membentuk permukaan yang tidak telap seperti jalan raya dan tempat letak kereta. Di samping itu, pembukaan hutan untuk pertanian dan pembangunan, pembalakan dan kegiatan pertanian yang tidak teratur juga meningkatkan aliran di permukaan hutan. Aliran yang meningkat ini akan menghakis tanah yang dilalui dan membawa sedimen ke persekitaran akuatik. Masalah sedimen ini akan memburukkan lagi kualiti air yang sudah ada.

Gangguan manusia terhadap kitaran air bukan sahaja tertumpu kepada gangguan nisbah penyusupan dan aliran, tetapi juga melalui pencemaran udara. Pencemaran udara bukan sahaja memberi kesan terhadap kuantiti hujan, tetapi juga kualiti hujan yang turun dan ini seterusnya mempengaruhi kualiti air semula jadi. Peningkatan bilangan zarah seni di udara daripada pembakaran bahan api, industri dan sampah merangsang pemeluwapan. Pada peringkat sejagat, peningkatan karbon dioksida dan zarah seni daripada pelbagai sumber mengubahimbangan haba di atmosfera. Semua bentuk pencemaran ini mempengaruhi taburan hujan.

Sejak akhir-akhir ini, masalah **hujan asid** sering diperkatakan dan diperbincangkan. Seperti yang disebutkan, hujan akan membawa turun bahan-bahan yang terdapat di atmosfera, termasuklah bahan-bahan cemar dari kilang, loji tenaga dan kenderaan. Bahan- bahan ini akan bergabung dengan hujan untuk membentuk **hujan asid**. Hujan asid ini bukan sahaja

berbahaya kepada kesihatan manusia, tetapi juga membunuh hidupan akuatik melalui pengaruhnya terhadap kualiti air.

Kita telah melihat betapa pentingnya air kepada kehidupan manusia dan kita juga telah melihat bagaimanakah manusia menyalahgunakan sumber air. Pencemaran air ini berlaku seolah-olah bekalan air tawar begitu banyak sekali. Sebenarnya, bekalan air tawar membentuk peratusan yang kecil daripada keseluruhan air yang ada di muka bumi ini. Walaupun 70% daripada muka bumi ini terdiri daripada air, namun peratusan air yang boleh digunakan oleh manusia begitu kecil sekali (Jadual 13.3). Sebahagian besar air di dunia ini tersimpan di lautan. Pada tahap teknologi yang ada pada masa ini, penukaran air laut kepada air tawar memerlukan perbelanjaan yang besar. Kini sumber air menghadapi masalah yang semakin meningkat, di samping kemerosotan kualiti oleh kegiatan manusia. Maka, perlulah kita memahami ekosistem air tawar secukupnya untuk mengetahui kemampuan ketahanan sistem dalam menghadapi tekanan ini. Pemahaman ekosistem akuatik boleh tercapai dengan melihat proses fisiokimia dan juga biologi yang berlaku dan menentukan saling tindakan antara faktor-faktor ini untuk membentuk satu ekosistem yang berkekalan.

SUMBER PENCEMARAN BUDAYA

Akibat daripada kegiatan manusia seharian, berbagai-bagai jenis bahan cemar boleh memasuki ke dalam sistem air. Bahan-bahan ini boleh dibahagikan kepada kategori bahan kimia (termasuklah detergen, bahan organik, nutrien, bahan radioaktif dan gas), bahan biologi (termasuklah patogen), bahan fizikal (termasuklah sedimen dan ampaian), dan haba yang boleh menyebabkan kenaikan suhu air (Jadual 13.4). Bahan-bahan cemar ini

boleh berpunca daripada tiga sumber utama: (1) kawasan perbandaran, (2) kawasan pertanian, dan (3) kawasan perindustrian (JaduaI13.5).

Setiap bahan cemar yang dihasilkan oleh manusia akan melalui satu rangka laluan yang kompleks dan melibatkan komponen-komponen (biotik dan abiotik) di alam sekitar sebelum terkumpul di sesuatu sinka (Rajah 13.3). Walaupun sesetengah pencemaran berasal daripada sistem daratan (sebagai contohnya pencemaran udara), kesannya boleh dirasakan di ekosistem akuatik. Sebarang bahan cemar akan memasuki rantai laluan yang akhirnya akan melibatkan organisma-organisma air (fitoplankton, zooplankton, ikan, rumpai air dan hidupan yang lain) dan sedimen (yang terampai di air dan juga sedimen di dasar air). Memandangkan manusia bergantung hidup pada hidupan akuatik terutamanya ikan, padah daripada pencemaran ini akan dirasakan oleh manusia.

Seperti yang telah dibincangkan, kualiti air yang perlu dikekalkan adalah berbeza mengikut kegunaan air tersebut. Sebagai contohnya, air yang digunakan untuk kegunaan domestik perlulah bebas daripada bahan beracun dan organisma patogen. Di samping itu, kandungan bahan terlarut perlulah dalam had yang selamat. Oleh itu, kualiti air perlu diawasi dari masa ke masa. Jadual I3.6 menunjukkan beberapa parameter penting yang perlu diukur dan kaedah yang biasa digunakan.

PENCEMARAN LOGAM BERAT

Logam berat ialah sekumpulan bahan cemar kimia yang terpenting dan boleh berpunca dari- pada industri kimia termasuklah industri logam, senjata, asid/alkali dan pelarut, asap kenderaan, pusat pembakaran tenaga fosil dan juga racun serangga. Seperti yang digambarkan dalam Rajah 13.4, logam berat dari punca yang tertentu boleh menimpa manusia secara langsung ataupun secara tidak langsung. Logam ini boleh menimpa

tumbuhan dan haiwan ataupun meresap ke udara, dan seterusnya sampai kepada manusia. Selain itu, logam berat boleh memasuki sebarang ekosistem air dan permukaan bumi yang lain melalui sisa air industri, pertanian, kumbahan, perumahan, perbandaran dan ladang haiwan. Pergantungan manusia terhadap sistem air menjadikan manusia tidak dapat mengelakkan diri daripada pencemaran logam berat melalui jasad air. Logam berat ini akan sampai kepada manusia melalui tumbuhan, haiwan, makanan dan minuman.

Logam berat banyak sekali digunakan dalam kegiatan manusia seharian. Tidak dinafikan logam amat perlu dalam kehidupan hari ini, dan pencemarannya ialah harga yang perlu dibayar untuk kemajuan tersebut. Walaupun demikian, pencemaran logam berat di dalam air ataupun di udara boleh diatasi melalui teknologi moden. Walaupun begitu, pencemaran ini perlu difahami dengan lebih mendalam supaya pendedahan daripada pencemaran logam-logam berat boleh dielakkan pada peringkat awal lagi, dan rawatan air sisa boleh menjadi lebih berkesan.

Kebanyakan logam berat yang tercemar di alam sekitar bersifat toksik kepada manusia. Contoh logam-logam ini ialah raksa (Hg), plumbum (Pb), kadmium (Cd), kuprum (Cu), zink (Zn), kobalt (Co), kromium (Cr), aluminium (Al), ferum (Fe) dan sebagainya. Jika terdedah dalam jumlah yang keterlaluan, logam-logam ini boleh terus membunuh. Satu peristiwa bersejarah yang patut menjadi pengajaran kepada manusia ialah kes **pencemaran raksa** di Jepun pada pertengahan tahun 1950-an dahulu. Akibat daripada penggunaan hidupan akuatik terutamanya ikan yang telah dicemari oleh logam raksa, penduduk tempatan di sebuah perkampungan nelayan di Minamata, Jepun telah mendapat penyakit ganjil yang disebut **penyakit Minamata**. Keracunan logam berat ini telah mengakibatkan lumpuh tubuh badan, kerosakan otak yang kekal, cacat anggota badan dan kematian.

Kerosakan kromosom juga boleh berlaku dan menyebabkan bayi-bayi yang lahir membawa kecacatan akal dan anggota.

Kesan logam plumbum terhadap manusia hampir menyerupai raksa, iaitu bertindak ke atas otak manusia dan boleh menurunkan kecerdasan otak. Logam-logam yang lain mempunyai tindakan yang tertentu di dalam tubuh manusia dan boleh mempengaruhi fungsi darah, sintesis protein, fungsi hemoglobin dan sebagainya. Logam kadmium yang banyak digunakan dalam industri bateri telah didapati boleh bertanding dengan kalsium (Ca). Kalsium sangat penting dalam pembinaan tulang bayi dan kanak-kanak. Bayi-bayi yang menggunakan susu yang tercemar dengan logam kadmium akan memperlihatkan kecacatan tulang rangka seperti tulang rapuh dan mudah patah. Kuprum pula didapati boleh bertindak ke atas jantung, dan seterusnya mempengaruhi fungsi-fungsi yang dilakukan oleh jantung.

PENCEMARAN PESTISID

Pestisid atau racun perosak banyak digunakan dalam kegiatan pertanian. Istilah ini meliputi racun serangga, racun kulat dan racun herba yang digunakan di ladang-ladang getah, kelapa sawit, sayur-sayuran dan juga buah-buahan. Beberapa jenis pestisid (contohnya DDT, 2,4,5- T) telah pun diharamkan penggunaannya akibat penemuan kesan-kesan negatif ke atas manusia, contohnya menyebabkan barah, penyakit kulit, penyakit yang melibatkan organ tubuh, penyakit pernafasan, dan juga akibat kerosakan kromosom dan pembawaan penyakit kepada bayi yang dilahirkan daripada ibu dan/atau bapa yang terdedah kepada pestisid tersebut.

Secara amnya, pengaliran pestisid boleh diringkaskan sebagaimana yang ditunjukkan dalam Rajah 13.5. Sumbernya seperti daripada pengawalan tumbuhan pertanian, haiwan, manusia, daripada pencucian pengisi pestisid,

tumpahan, dan daripada kawasan pembuangan sampah boleh terus menimpa ekosistem air (sungai, tasik, terusan) dan dari situ boleh sampai ke laut dan juga air bawah tanah. Terdapat juga tumpahan pestisid yang berlaku di laut ataupun pembuangan terus ke laut.

Selain itu, pestisid juga digunakan dalam peperangan. Semasa peperangan Vietnam dahulu, pihak tentera Amerika telah menggunakan racun herba 2,4,5-T secara semburan dari udara untuk menggugurkan daun-daun tumbuhan di hutan. Tujuannya adalah untuk memudahkan mereka mengesan musuh dan juga supaya pihak musuh akan menerima bencana hujan lebat pada musim monsun tanpa dilindungi oleh tumbuhan tersebut. Walaupun begitu, semburan tersebut perlu disediakan oleh pihak tentera Amerika yang juga terdedah terus kepada bahan kimia ini. Apabila mereka kembali ke tanah air di Amerika, anggota-anggota tentera tersebut telah mula memperlihatkan tanda-tanda pencemaran 2,4,5-T ke atas tubuh mereka dan ke atas zuriat yang dilahirkan. Bahan kimia itu pernah digelar *agen jingga* kerana warna jingganya, dan telah menjadi satu kes kontroversi yang besar di Amerika Syarikat pada lewat tahun 1970-an dahulu.

Tumbuhan rumpai air pula sangat mudah hidup dalam air yang kaya dengan nutrien. Rumpai air ini mengakibatkan berbagai-bagai jenis masalah terutamanya menghalang penggunaan air atau sistem air tersebut secara optimum. Rumpai air juga boleh mengakibatkan pembawaan penyakit-penyakit tertentu secara menyebarkan patogen atau organisma yang membawa penyakit tersebut. Oleh yang demikian, pengawalan tumbuhan air ini sering juga dilakukan secara penggunaan herbisid. Kesan penggunaan herbisid ke atas persekitaran akuatik boleh diringkaskan seperti dalam Rajah 13.6.

Herbisid tersebut boleh mengakibatkan ketoksikan secara langsung ke atas organisma. Ini berlaku kerana herbisid yang digunakan ke atas rumpai air

akan membunuh tumbuhan. Bahan beracun ini akan dikembalikan ke dalam sistem air apabila tumbuhan ini mereput dan diuraikan. Akibat penggunaan herbisid ke atas rumpai air ini juga boleh mengurangkan keupayaan fotosintesis tumbuhan air, dan kematian tumbuhan air boleh mengurangkan punca makanan hidupan air. Perubahan ke atas kandungan oksigen dalam air, bahan-bahan makanan hidupan air, kemasukan cahaya matahari ke dalam air dan penambahan nutrien ke dalam air semuanya bertindak untuk mengurangkan organisma akuatik ataupun menggantikan organisma dominan dalam sistem air tersebut. Akibatnya berlaku pengayaan segelintir spesies hidupan air dan pengurangan kepelbagaian spesies.

Cara yang lain untuk mengawal tumbuhan air ialah secara tenaga buruh manusia, tanpa penggunaan racun herba. Cara kawalan ini boleh dilakukan di negara-negara yang tenaga buruhnya murah. Cara yang lebih berkesan ialah dengan mengurangkan atau menghentikan kemasukan nutrien (lebih-lebih lagi nitrogen dan fosforus) ke dalam sistem air.

PENYAKIT MANUSIA BERASASKAN AIR

Penyakit-penyakit manusia yang berasaskan air kebanyakannya dibawa oleh kuman bakteria, protozoa, kulat, virus, ataupun cacing-cacing yang tertentu. Penyakit-penyakit ini mudah dihidapi oleh manusia yang sentiasa menerima bekalan air yang tercemar dengan kuman-kuman tersebut dan lebih-lebih lagi dengan adanya pembawa kuman tersebut seperti siput, tikus, nyamuk, lalat dan sebagainya. Pembawa ini hidup dan berkembang dengan subur di air yang tidak mengalir dan kawasan air yang semak dengan tumbuhan air. Perkembangan populasi makrofit akuatik yang tinggi boleh dilihat di jasad air yang banyak menerima bekalan nutrien daripada sistem daratan. Proses pengeutrofikatan ini boleh berlaku secara semula jadi ataupun akibat daripada kegiatan manusia. Proses ini akan dibincangkan dengan panjang lebar dalam Bab 14. Kawasan-kawasan yang banyak menerima buangan

manusia atau haiwan (najis, bahan-bahan kotor dan lain-lain) juga menyediakan satu habitat yang sesuai untuk perkembangan pembawa penyakit dan juga organisma patogen itu sendiri.

Penyakit-penyakit manusia yang berasaskan air terlalu banyak untuk disenaraikan. Jadual 13.7 menunjukkan contoh jenis-jenis penyakit yang sering ditemui di kawasan tropika. Tiap-tiap penyakit ini disebabkan oleh patogen-patogen yang tertentu sepertimana yang dicatatkan.

Bab 14

Pengeutrofikatan

Hayat sebuah tasik dapat dibahagikan kepada dua kategori am: **oligotrofi** dan **eutrofi**. Tasik oligotrofi dicirikan oleh kepekatan nutrien yang rendah, manakala kandungan oksigennya adalah tinggi. Tasik ini juga memperlihatkan kepelbagaian spesies tumbuhan air dan haiwan kecil yang tinggi. Tasik eutrofi menunjukkan ciri yang berlawanan daripada tasik oligotrofi. Bagi tasik ini, kepekatan nutrien adalah tinggi, manakala kandungan oksigen secara amnya rendah. Tasik eutrofi mempunyai kepelbagaian spesies haiwan dan tumbuhan yang rendah. Tasik yang menunjukkan ciri perantaraan antara oligotrofi dan eutrofi disebut **tasik mesotrofi**.

Dalam keadaan semula jadi, terdapat satu kecenderungan untuk tasik berubah secara beransur-ansur. Tasik daripada bentuk oligotrofi bertukar kepada tahap mesotrofi sebelum menjadi tasik eutrofi. Ini terjadi disebabkan oleh pengaliran nutrien terutama sekali fosfat dan nitrat ke dalam jasad air secara berterusan. Nutrien ini dibawa oleh anak-anak sungai ataupun melalui proses larut lesap bahan-bahan tersebut daripada sistem daratan.

Kemasukan bahan-bahan aloktonus ini bukan sahaja setakat meningkatkan nutrien tetapi juga mengurangkan kedalaman tasik. Keseluruhan proses ini mengayakan sistem air dengan nutrien dan dikenali sebagai **pengeutrofikatan**.

Selain daripada input air larian daripada ekosistem hutan, bahan-bahan autoktonus yang sedia ada di sistem akuatik turut menyumbangkan nutrien dan ber- tanggungjawab mengayakan jasad air. Bahan-bahan ini termasuklah hasil daripada proses penguraian buangan haiwan seperti burung dan pengikatan alga biru-hijau. Melalui nitro- gen, alga biru-hijau mampu menukarkan nitrogen utama kepada bentuk yang boleh digunakan oleh tumbuhan. Dengan terurainya jasad alga biru-hijau, nutrien ini dikitarkan semula di dalam sistem dan seterusnya dapat digunakan oleh tumbuhan autotrof yang lain. Selain daripada proses semula jadi, kegiatan manusia sejak kebelakangan ini didapati boleh mencepatkan kadar peralihan tahap makanan sesebuah tasik.

TAKRIF PENGEUTROFIKATAN

Istilah *oligotrofi* dan *eutrofi* telah mula-mula diperkenalkan oleh **Weber** pada tahun 1907. Pada tahun 1919, **Naumann** telah menggunakan istilah tersebut dalam kajian limnologi.

Walaupun begitu, penggunaan istilah ini menimbulkan pelbagai kekeliruan memandangkan ciri tasik mempunyai perbezaan bukan saja terhadap sifat-sifat asas tetapi juga dari segi produktiviti. Pengeutrofikatan lebih difahami sebagai satu proses pengayaan nutrien di dalam tasik. Oleh sebab proses pengayaan nutrien boleh dipengaruhi oleh manusia dan proses semula jadi, maka pengeutrofikatan amat perlu difahami sebagai melibatkan kedua- dua sumber ini. Satu takrif pengeutrofikatan yang sering digunakan ialah

pertambahan kadar kemasukan nutrien oleh Edmondson (1974). Kemasukan nutrien yang disebabkan oleh kegiatan manusia dikenali sebagai **pengeutrofikatan buatan** atau **budaya** untuk membezakan pengeutrofikatan yang berlaku bukan berpunca daripada manusia, iaitu pengeutrofikatan semula jadi. Satu contoh proses **pengeutrofikatan semula jadi** ialah akibat kebakaran hutan atau bencana alam yang lain. Dalam buku ini, pengeutrofikatan buatan/budaya akan diberikan penekanan.

PENGEUTROFIKATAN BUDAYA

Penambahan nutrien yang berpunca daripada kegiatan manusia berlaku dengan berbagai- berbagai cara:

Larut lesap atau luluhawa baja yang digunakan di ladang tumbuhan pertanian

Tumbuhan pertanian memang memerlukan pembajaan untuk meninggikan hasil. Namun begitu, proses larut lesap nutrien daripada kawasan pertanian boleh berlaku dan mengakibatkan nutrien dilarikan oleh air ke sistem' akuatik. Keadaan ini terjadi sekiranya pembajaan dijalankan secara tidak teratur atau terlalu banyak baja dalam bentuk nitrat (NO_3^-) digunakan.

Baja dalam bentuk nitrat mempunyai sifat mudah larut dalam air. Baja dalam bentuk fosforus pula tidak mudah dilarutlesapkan jika dibandingkan dengan baja nitrat. Disebabkan bentuk kimianya, sebatian fosforus terlekat kuat pada butir-butir tanah. Namun begitu, butir- butir tanah ini boleh dihakis oleh air hujan dan akhirnya dapat juga sampai ke dalam tasik. Oleh sebab sebatian nitrogen lebih mudah larut dalam air jika dibandingkan dengan sebatian fosforus, kita akan dapati bahawa sistem air dengan mudah boleh dicemari oleh nutrien ini.

Buangan domestik atau bahan-bahan yang keluar dari rumah atau bangunan lain yang memasuki sistem air

Najis manusia mengandung kandungan fosfat (PO_4^-) dan nitrat (NO_3^-) yang lebih tinggi daripada najis haiwan. Sabun serbuk pencuci kain (detergen) juga mempunyai kandungan fosfat yang tinggi. Di beberapa negara maju seperti Amerika Syarikat, undang-undang yang berkaitan dengan kandungan fosfat yang dibenarkan di dalam sabun pencuci telah diletakkan supaya kesan buruk sebatian ini terhadap kehidupan organisma di dalam sistem air dapat dikurangkan.

Oksida nitrogen daripada ekzos kenderaan

Nitrogen dalam bentuk oksidanya boleh memasuki jasad air melalui air hujan. Pada masa hujan, gas-gas ini turut diturunkan bersama-sama dari angkasa. Kesan ini lebih dirasai sekiranya jasad air tersebut terletak berhampiran dengan kawasan bandar dan juga kawasan perindustrian. Kenderaan dan kilang di kawasan ini akan mengeluarkan asap yang mengandungi oksida nitrogen.

Pembuangan najis haiwan ternakan

Najis-najis haiwan ternakan seperti babi, lembu, kambing, ayam dan itik mengandungi kandungan fosforus dan nitrogen yang tinggi. Dengan bertambahnya permintaan terhadap hasil-hasil haiwan ternakan di negara ini (untuk makanan manusia atau pembuatan hasil yang lain), maka lebih banyak kawasan ternakan telah diadakan. Ini juga bermakna lebih banyak buangan najis disalurkan ke sistem akuatik.

Sistem penternakan haiwan secara moden (kegiatan penternakan yang ditumpukan di suatu tempat yang kecil) semakin popular pada masa ini. Sistem penternakan secara intensif ini membolehkan pengawalan,

pengawasan dan pemberian makanan kepada ternakan boleh dijalankan dengan mudah. Di samping itu, kaedah ini dapat menurunkan kos operasi. Najis- najis ternakan yang terkumpul lebih mudah diuruskan.

Namun begitu, kegiatan menternak haiwan di kebanyakan tempat di Malaysia tidak diuruskan dengan teratur. Hasil buangan haiwan ini dibuangkan terus ke dalam parit, sungai atau pesisiran pantai atau terus ke laut. Cara pembuangan yang tidak terkawal ini mengakibatkan sisa-sisa najis ini boleh sampai ke sistem air yang lain, termasuklah tasik, anak sungai, kawasan tadahan air dan sebagainya dan mencemari jasad air dengan bahan organik. Nitrogen yang terkandung dalam najis ini juga boleh meresap ke udara dalam bentuk ammonia (NH_3) atau gas nitrogen (NH_2). Bahan-bahan ini seterusnya boleh turun semula ke bumi bersama-sama air hujan, atau dipindahkan ke tempat lain oleh angin.

Hakisan tanah oleh air hujan

Tanah yang diganggu boleh mengakibatkan hakisan yang teruk. Air larian akan membawa unsur-unsur dan nutrien bersama-sama ke tempat lain. Tanah banyak mengandungi nitrogen dan fosforus dan unsur-unsur yang lain seperti kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg) dan sulfur (S). Kegiatan pembalakan hutan, projek pembukaan tanah untuk perumahan, perbandaran, pertanian dan sebarang kegiatan lain yang boleh menjadikan tanah terdedah . boleh memburukkan proses hakisan tanah.

Pembuangan dari industri

Kilang-kilang amat banyak menggunakan air dan membuang air sisa yang mengandungi berbagai-bagai jenis bahan kimia, terutamanya kilang-kilang kimia, elektronik, makanan, tekstil dan kertas.

NUTRIEN

Proses pengeutrofikatan melibatkan kemasukan nutrien ke dalam persekitaran akuatik. Dalam membicarakan nutrien ini, terdapat tiga aspek yang perlu difahami: **penyebaran, pengambilan dan penggunaan.**

PENYEBARAN

Nutrien yang memasuki sesuatu jasad air mungkin tertumpu kepada suatu bahagian sahaja dan menjadikan penyebarannya tidak sama rata. Kesan sepenuhnya bergantung pada penyebaran nutrien-nutrien ini di dalam tasik yang dipengaruhi oleh angin dan kegiatan manusia seperti berbagai-bagai jenis sukan air.

PENGAMBILAN

Nutrien ini seterusnya boleh bertukar bentuk kimia, bergantung pada ciri-ciri air seperti pH, kandungan oksigen atau agen-agen pengkelatan.

PENGUNAAN

Adakah nutrien-nutrien ini dapat digunakan oleh organisma di dalam air? Penggunaan nutrien bergantung pada bentuknya yang ada, dan pengaruh biologi dan kimia air, cahaya, suhu dan angin (yang mencampurkan air).

KESAN PENGEUTROFIKATAN

Apakah kesan-kesan pengeutrofikatan itu baik atau buruk? Jawapannya terletak kepada aras pengeutrofikatan yang telah berlaku. Bagi sesetengah tasik, peningkatan nutrien yang berlaku juga akan meningkatkan populasi ikan yang hidup di dalamnya. Kesan-kesan pengeutrofikatan berlaku mengikut susunan masa dan boleh dibahagikan kepada kesan primer dan

sekunder. Senarai dalam Jadual 14.1 memberikan susunan kesan-kesan tersebut dengan jelas.

Akibat proses pengeutrofikatan, beberapa masalah timbul bergantung pada penggunaan air tersebut (Jadual 14.2). Pengeutrofikatan boleh membawa perubahan yang besar terhadap bilangan dan kepelbagaian biota air. Dalam keadaan eutrofi, hanya spesies biota yang tahan lasak boleh terus hidup. dan kepelbagaian spesies akan berkurangan. Seterusnya biojisim tumbuhan dan haiwan air akan bertambah. Kadar pemendakan yang tinggi akan memendekkan hayat tasik itu. Tasik yang dahulunya jernih kini boleh menjadi sangat keruh.

Keadaan anoksia (kehausan oksigen) boleh berlaku dan seterusnya membentuk sifat- sifat kimia dan biologi tasik.

Manusia akan menghadapi pelbagai masalah yang berkaitan dengan kesihatan, ataupun pada peringkat awalnya akibat perubahan warna, rasa dan bau air. Ikan-ikan dan hidupan air lain yang menjadi sumber ekonomi atau makanan (protein) manusia juga boleh terus terjejas. Dengan bertambahnya tumbuhan air, penggunaan tasik sebagai satu sistem pengangkutan juga akan terjejas. Berbagai-bagai jenis haiwan pembawa penyakit boleh merebak dan membiak.

Tasik yang berkeadaan eutrofi dan tercemar begini menjadi kurang nilainya dalam berbagai-bagai aspek, termasuklah nilai ameniti. Tasik ini juga tidak boleh lagi digunakan sebagai sumber rekreasi dengan sepenuhnya, nilai estetikanya menurun, dan dalam keadaan yang teruk boleh membebankan pula manusia.

CONTOH PENGEUTROFIKATAN

Satu contoh tasik yang mengalami pengeutrofikatan ialah **Tasik Erie** di Amerika Syarikat. Tasik ini terletak di kawasan yang padat dengan penduduk (lebih 15 juta) dan merupakan satu kawasan industri yang pesat serta mempunyai kawasan pertanian yang luas. Untuk sekian lama, buangan dari kawasan perbandaran dan perindustrian disalurkan terus ke dalam tasik ini. Akibatnya tasik tersebut telah mengalami tahap pencemaran yang teruk. Hasil daripada desakan dan tekanan masyarakat tempatan, undang-undang yang ketat berkaitan dengan kawalan pencemaran telah dilaksanakan. Pelaksanaan undang-undang ini telah berjaya mengurangkan kemasukan bahan asing ke dalam tasik dan memberi peluang untuk tasik yang hampir *mati* ini untuk terus hidup.

Satu lagi contoh yang baik ialah **Tasik Tahoe** di Amerika Syarikat. Tasik ini terletak di kawasan tinggi antara negeri-negeri Nevada dan California. Pada asalnya, air tasik ini sangat jernih dan bersih. Keindahan semula jadi ini telah menjadikan tasik ini satu destinasi pelancongan dan kawasan rekreasi yang popular. Malangnya, pekan Tahoe di bahagian Nevada ialah tempat perjudian yang popular dan menarik orang ramai datang berjudi, mencari kerja dan menetap di situ. Sehingga lewat tahun tujuh puluhan, efluen dari bandar tersebut telah disalurkan tanpa sebarang rawatan ke dalam Tasik ini. Kemasukan bahan- bahan asing ini telah mengakibatkan pencemaran berlaku di sebahagian tasik tersebut. Jika keadaan ini berterusan, kadar pengeutrofikatan boleh dipercepatkan dan tasik Tahoe boleh mengalami nasib yang serupa dengan Tasik Erie. Di Filipina, Tasik Laguna de Bay meng; hadapi masalah pengeutrofikatan yang agak serius. Di sekitar tasik ini, ada lebih daripada 120 kilang-kilang yang mengalirkan air kotor yang mengandungi bahan-bahan toksik dan nutrien terus ke dalam tasik. Akibat daripada kemasukan nutrien yang berlebihan ini, kembangan alga terbentuk

dengan pesat. Tasik ini sebenarnya mampu menakung lebih kurang 3 bilion m³ air dan berperanan untuk membekalkan keperluan air untuk seluruh Bandaraya Manila. Fungsi jasad air ini akan terjejas sekiranya proses pengeutrofikatan dibiarkan berterusan.

Tasik yang mengandungi bahan-bahan nitrat dan fosfat yang tinggi menggalakkan pertumbuhan tumbuhan rumpai air terutamanya alga biru-hijau dengan pesat. Perkembangan mendadak alga ini akan banyak menimbulkan masalah. Kehadiran alga biru-hijau seperti *Spirulina*, *Arthrospira*, *Microcystis* dan *Nodularia* boleh menimbulkan rasa dan bau yang tidak enak dan menjadikan air tasik tidak boleh digunakan sebagai bekalan air minuman. Di samping itu, ada juga spesies alga biru-hijau yang mengeluarkan bahan-bahan kimia yang toksik. Manusia yang bersentuhan dengan air yang beracun ini akan menghadapi masalah penyakit kulit di samping penyakit gastrointestinal sekiranya air ini terminum. Tasik tersebut sudah tentu tidak boleh digunakan untuk rekreasi.

Satu lagi masalah yang ditimbulkan oleh kehadiran alga biru-hijau ini ialah berkaitan dengan kandungan oksigen. Dengan berubahnya iklim, populasi tumbuhan autotrof ini boleh mengalami kematian serentak. Pereputan tumbuhan ini akan menyebabkan kandungan oksigen dalam air boleh mencapai tahap yang sangat rendah. Keadaan kekurangan oksigen ini boleh memberi kesan buruk kepada hidupan akuatik yang lain terutama sekali populasi ikan.

PENGESANAN TROFIK

Dengan bertambahnya tahap pengeutrofikatan dalam sesebuah tasik, beberapa parameter tasik boleh berubah menjadi lebih tinggi ataupun sebaliknya. Parameter ini boleh dibahagikan kepada tiga: fizikal, kimia dan

biologi (Jadual 14.3). Pada amnya, tasik yang mengalami pengeutrofikatan memperlihatkan pengurangan kejernihan air dan kedalaman purata. Di samping itu, tasik tersebut mempunyai kepelbagaian komuniti bentos yang rendah. Walaupun kembangan alga kerap berlaku, namun spesies yang membentuk kembangan terdiri daripada satu atau dua spesies sahaja.

Tasik eutrofi juga menunjukkan peningkatan dalam beberapa aspek seperti kandungan klorofil a, kekonduksian dan kandungan pepejal terlarut. Dari segi biologi, proses pengeutrofikatan mengakibatkan peningkatan populasi tumbuhan litoral dan seterusnya penghasilan primer. Penghasilan primer yang tinggi ini membolehkan sistem akuatik tersebut menyokong populasi ikan yang lebih tinggi.

BEBANAN NUTRIEN

Nutrien-nutrien nitrogen dan fosforus dianggap paling penting dalam proses pengayaan sesebuah tasik yang menyebabkan terjadinya pengeutrofikatan. Oleh itu, pengawalan input unsur-unsur ini amat penting supaya kualiti air sesuatu ekosistem akuatik terjamin. Input semula jadi daripada proses alam seperti larut lesap semula jadi, larian air dan sebagainya bergantung pada tempat serta proses-proses lain yang berlaku. Secara amnya, bebanan nitrogen dan fosforus boleh diawasi dan kandungannya diukur dari masa ke masa. Satu panduan aras bebanan nitrogen dan fosforus yang dibenarkan di dalam tasik telah diberikan oleh **Vollenweider** (1970) (Jadual 14.4). Bebanan nitrogen dan fosforus yang dibenarkan di dalam tasik berbeza-beza antara tasik dan ini berkaitan dengan kedalaman purata tasik tersebut.

Penggunaan tanah boleh mengeluarkan nitrogen dan fosforus yang boleh menimpa ekosistem tasik atau ekosistem air yang lain. Satu kiraan tentang kuantiti nitrogen dan fosforus yang terhasil akibat beberapa jenis aktiviti

penggunaan tanah telah dibuat oleh **Lee et al** (1978) bagi negara Amerika Syarikat (Jadual 14.5). kegiatan bandaran dilihat sebagai punca pengeluaran fosforus yang utama, tetapi jatuhan kering (jatuhan ke bumi secara kering dan bahan air hujan atau salji) merupakan punca utama kemasukan nitrogen ke alam sekitar. Jumlah kemasukan nitrogen atau fosforus didapati tidak sama. Secara amnya, jumlah kemasukan nitrogen lebih tinggi daripada fosforus kerana sifat mudah larut nitrogen di dalam air jika dibandingkan dengan unsur fosforus.