



## **NOTA PENYELIDIKAN**

### **Kualiti sumber air di Malaysia: Satu analisis**

Ang Kean Hua<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Environmental Studies, Universiti Putra Malaysia, 43400 UPM Serdang, Selangor Darul Ehsan

Correspondence: Ang Kean Hua (email: [angkeanhua@yahoo.com](mailto:angkeanhua@yahoo.com))

#### **Abstrak**

Air merupakan sumber alam semula jadi. Keaslian air telah mewujudkan pelbagai ekosistem yang menghubungkan antara benda hidup dan benda bukan hidup yang bergantung antara satu sama lain. Artikel ini bertujuan mengulas ciri-ciri sistem sumber air dari perspektif kualitinya. Ciri-ciri fizikal air yang sangat unik telah menjadikan air sebagai pelarut yang universal. Namun, perubahan masa dan ruang yang sangat pantas menyebabkan manusia yang sepatutnya bertanggungjawab untuk menjaga dan melindungi sumber ini semakin lupa diri. Aktiviti manusia yang dijalankan tanpa batasan telah menyebabkan pencemaran air, iaitu percampuran antara bendasing dengan air bersih. Pencemaran air ini boleh dikaji dan dinilai melalui tiga parameter utama, iaitu parameter fizikal, parameter kimia, dan parameter biologi, serta pencemaran logam berat. Punca utama pencemaran air boleh dikategorikan kepada pencemar organik, pencemar bukan organik, pencemar toksik, pencemar kimo-fizikal, dan pencemar mikrob. Pencemaran air boleh memberikan impak negatif kepada kesihatan, kepupusan hidupan akuatik, dan menjejaskan faktor-faktor lain. Oleh itu, manusia perlu mengamalkan sikap memulihara dan memelihara sumber air semula jadi ini melalui pengurangan faktor penyumbang pencemaran air, mengitarikan semula air tercemar, dan mengekalkan kualiti sumber air daripada terus 'hilang' daripada permukaan bumi ini.

**Katakunci:** ekosistem, impak negatif, memelihara, memulihara, pelarut universal, pencemaran air

## **RESEARCH NOTE**

### **The quality of water resources in Malaysia: An analysis**

#### **Abstract**

Water is a natural resource. The pure water has created a variety of ecosystems where living and non-living beings are connected in complex interdependencies. This review points to three main parameters of water quality pollution, namely physical, chemical and biological (including heavy metal contamination) parameters. It analyses the organic, inorganic, toxic, chemo-physical and microbial contaminants and explains how they might impact on health and aquatic life. Finally, it analyses water conservation and preservation measures through reduced water pollution factors, recycled contaminated water, and preserved quality maintenance of water resources before they 'disappear'.

**Keywords:** conservation, ecosystems, negative impacts, preservation, universal solvent, water pollution

## Pengenalan

Bumi merupakan sebuah planet yang kelihatan dari angkasa berwarna kebiruan. Warna kebiruan ini merupakan unsur-unsur alam semula jadi yang dikenali sebagai air. Badan air meliputi kira-kira 25 peratus daripada keluasan permukaan bumi. Bagi kehidupan manusia, air pula membentuk lebih kurang tiga per empat daripada berat badan manusia. Tanpa sumber air, kehidupan manusia akan menjadi sukar atau akan mati. Dari segi fizikal, disebabkan oleh ciri-ciri struktur molekulnya yang sangat unik, air merupakan bahan pelarut yang universal. Kelebihan ini juga membantu menyeimbangkan kitaran haba bumi melalui laut yang luas dengan sifatnya yang mempunyai inersia haba yang tinggi. Begitu juga sungai. Kelebihan badan air ini menggalakkan perkembangan bandar metropolitan di tebing sungai utama dunia seperti New Delhi (Yamuna), Washington DC (Potomac), London (Thames), Paris (Seine), Cairo (Nile), Manaus (Amazon), (Jain & Singh, 2003). Perkembangan pesat bandar-bandar besar ini dipermudahkan oleh bekalan sumber air yang tersedia secara semula jadi. Namun, perubahan masa telah menjadikan manusia bertindak rakus dan sewenang-wenangnya dalam mengeksploitasi sumber alam sama ada secara sengaja atau tidak sengaja telah menyebabkan kemerosotan kualiti air.

Air juga merupakan salah satu komponen ekosistem dunia. Ekosistem merupakan pentas bagi interaksi antara organisma dan persekitaran fizikal di kawasan tempat tinggal. Ia terdiri daripada bahan organik dan bahan bukan organik yang berinteraksi dan berubah apabila terdapat daya tekanan semula jadi yang berlaku terhadapnya. Komponen ekosistem boleh dibahagikan kepada dua kumpulan, iaitu biotik dan abiotik. Biotik merujuk kepada benda-benda hidup, manakala abiotik pula merujuk kepada benda tidak hidup. Manusia sangat berhubung erat dengan ekosistem kerana mereka hidup dan berinteraksi antara satu sama lain. Sebenarnya, setiap bahagian bumi adalah sebahagian daripada ekosistem. Misalnya, setompok hutan yang kecil boleh dirujuk sebagai skala kecil yang terdiri daripada satu ekosistem, dan keadaan adalah sama bagi satu sungai utama yang mempunyai lembangan sungai dengan keluasan meliputi ribuan kilometer persegi. Ekosistem yang berskala besar pula meliputi pantai, hutan, padang rumput, air tawar dan kawasan pertanian. Hubungan bagi semua ekosistem adalah sangat penting kerana ianya berinteraksi antara satu sama lain bagi mengekalkan kualiti kehidupan yang sihat. Aktiviti manusia seperti perindustrian, banyak mempengaruhi ekosistem tersebut dan seterusnya menjejaskan sistem hidrologi. Jelas sekali bahawa penurunan kapasiti produktif ekosistem mempunyai implikasi yang tidak sihat untuk pembangunan insan dan kesejahteraan semua spesies hidupan. Keadaan ini boleh dikaitkan dengan peningkatan penduduk, peningkatan aktiviti perindustrian, dan permintaan yang tinggi terhadap sumber alam semula jadi. Oleh sebab itu, untuk mengurangkan dan menguruskan punca kerosakan terhadap ekosistem, satu pendekatan bersepadu amat diperlukan. Pendekatan seperti pengurusan sumber air harus dimulakan dari setiap lembangan sungai sebagai permulaan kepada kawalan pencemaran dan menggalakkan konsep kitar semula air dengan harapan dapat menghasilkan pembangunan lestari. Pengurusan air juga boleh dikaitkan dengan usaha pemuliharaan tanah, perancangan guna tanah, pengurusan hutan, perlindungan tanah lembap, dan ekosistem akuatik.

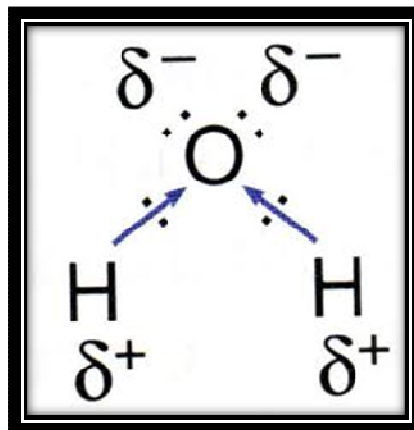
Demi pembangunan ekonomi dan penggunaan optimum, perancangan, reka bentuk, dan operasi terhadap sumber air, penentuan dalam kelangsungan dan ketersediaan sumber air di permukaan bumi dan bawah tanah adalah paling utama. Pengagihan air di benua adalah sangat berbeza dari segi ruang dan masa, sebagai contohnya lebih air di kawasan hutan hujan tropika adalah berbeza dengan padang pasir yang dikatakan mandul kerana kekurangan air. Namun begitu, kawasan petempatan bagi sesetengah kawasan dunia juga agak berbeza, sebagai contohnya kawasan yang mempunyai peratusan air yang sangat tinggi seperti Lembangan Amazon mempunyai penduduk yang agak jarang; dan ianya agak berbeza daripada Asia Selatan seperti di India yang mempunyai penduduk yang sangat padat. Walau bagaimanapun, ketersediaan sumber air juga bergantung sepenuhnya dengan ciri-ciri sesuatu kawasan tersebut, seperti di kawasan padang pasir yang sangat kering dan air yang tidak mencukupi, dan kawasan kutub pula kebanyakan air menjadi beku; membuktikan bahawa kedua-dua kawasan ini adalah tidak sesuai untuk didiami. Jika dilihat secara umumnya, sumber air dapat diperolehi melalui beberapa kaedah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1 yang berikut (Cole, 1998).

**Jadual 1. Sumber-sumber air**

Kategori	Penerangan
Sungai Semula Jadi	Sumber air hujan dan pencairan salji atau glasier, adalah punca utama takungan air sungai. Air tersebut mengalir dari kawasan tanah tinggi dengan kuantiti yang banyak dan sangat deras berupaya memenuhi segala ruangan yang ada di sungai tersebut. Ditambah dengan input air dari bawah tanah, maka takungan air sungai tersebut boleh dikatakan mantap. Aliran sungai menghala ke kawasan tanah rendah dan mempunyai kebarangkalian untuk menjadi tercemar kerana segala effluen air (contoh dari tempat rawatan air kumbahan atau pelepasan sisa dari kilang) akan berhenti di sini. Proses kitaran ini menjadikan sungai sebagai pembekal utama untuk sumber air.
Tasik Semula Jadi	Pembekalan sumber air adalah terhad kerana rangkaian penerimaan air adalah terhad dan dikekang.
Empangan (Takungan)	Kuantiti air yang banyak disimpan dalam takungan di belakang empangan dengan bertujuan untuk pelbagai kegunaan. Semasa iklim basah, air tersebut akan disimpan dan akan digunakan apabila musim kering tiba. Bagi kebanyakan negara, empangan ini bertujuan untuk membekalkan sumber air yang mengalami musim kering yang panjang. Takungan ini boleh dikategorikan kepada beberapa bentuk: <ul style="list-style-type: none"><li>• Takungan Bekalan Langsung. Air dari kawasan tanah tinggi membekalkan air melalui talian paip atau terusan, dengan aliran air ini mengikut graviti dan kualiti sumber air yang ditawarkan adalah lebih baik.</li><li>• Kawalan Takungan Sungai, dimana sumber air ini adalah bertujuan untuk simpanan dan akan dilepaskan sedikit demi sedikit sehingga ke hilir sungai untuk mengekalkan keadaan aliran air semula jadi.</li><li>• Pam Penyimpanan, di mana air sungai ini dipam ke dalam takungan penyimpanan (kadang-kadang berada di luar saluran), dan akan digunakan untuk kegunaan seterusnya. Selalunya kaedah ini akan digunakan dalam projek-projek kuasa hidro untuk memberi kuasa tambahan pada waktu puncak. Semasa waktu puncak, air dari takungan (kawasan rendah) akan dipam semula ke dalam sungai atau kawasan takungan yang lebih tinggi.</li><li>• Sekatan Muara di sesuatu kawasan dengan bertujuan untuk mengurung air apabila berlakunya air pasang surut. Kaedah ini merupakan kaedah utama untuk memerangkap air tawar sebelum ia memasuki laut, dan juga memerlukan pakar untuk membuat penyediaan untuk laluan ikan yang berhijrah semasa musim mengawan dan menyediakan laluan untuk perkapalan.</li></ul>
Tiub Telaga	Tiub telaga adalah sumber utama air bawah tanah, biasanya menggunakan <i>Electric Submersible Pump</i> atau <i>Mechanical Shift-Drive Pump</i> . Kebiasaannya, penghasilan boleh mencecah dari 1 hingga 10000 m <sup>3</sup> /sehari, dengan bergantung kepada ciri-ciri akuifer, kapasiti pam, dan sumber air yang ada. Telaga terbuka pula adalah sumber air yang kecil di kawasan luar bandar dengan menggunakan baldi atau pam tangan untuk mengambilnya.
Mata Air	Mata air berlaku di mana terdapatnya akuifer timbul di atas batu yang telap. Ianya sangat bergantung kepada keadaan hidrogeologi tempatan. Mata air ini mungkin tidak akan habis, yang boleh menjadi bekalan sumber air yang sangat kecil, atau hanya mengikut musim yang tidak akan tersedia sepanjang tahun.
Air Masin	Air paya yang mempunyai kandungan garam lebih daripada 0.1% boleh menjalankan proses penyahgaraman dengan menggunakan sistem osmosis. Walaupun proses tersebut mahal, ia digunakan secara meluas di kawasan yang kering seperti negara Arab, di mana bahan api adalah sangat murah. Memandangkan air laut boleh dirawat, ia juga boleh disuling dengan menggunakan proses penyulingan. Seperti yang dijelaskan di atas, baru-baru ini teknologi membran telah diperkenalkan dan bukan sahaja dapat menjalankan proses penyulingan malah peruntukan kosnya juga agak murah.

### Ciri-ciri fizikal sumber air

Air merupakan molekul polar yang terdiri daripada H<sub>2</sub>O yang mempunyai cas negatif pada atom oksigen dan cas separa positif pada kedua-dua atom hidrogen; menyebabkan air menjadi dwikutub kekal (Rajah 1) (Portal Rasmi Pharma Corama, t.t). Oleh kerana keadaan ini, atom oksigen mengikat bersama-sama dengan atom hidrogen untuk membentuk jenis Hidrogen-Oksigen-Hidrogen (HOH), iaitu dinamakan sebagai molekul air (Portal Rasmi Pharma Corama, t.t). Setiap molekul air boleh membina sehingga 4 ikatan hidrogen untuk membentuk keadaan pepejal seperti ais, manakala suhu yang lebih tinggi seperti 100 °C akan mempunyai purata ikatan hidrogen adalah 3.4 bagi setiap molekul (Portal Rasmi Pharma Corama, t.t).



Sumber: <http://witcombe.sbc.edu/water/chemistrystructure.html>

**Rajah 1.** Cas negatif daripada atom oksigen dan cas separa positif daripada kedua-dua atom hidrogen

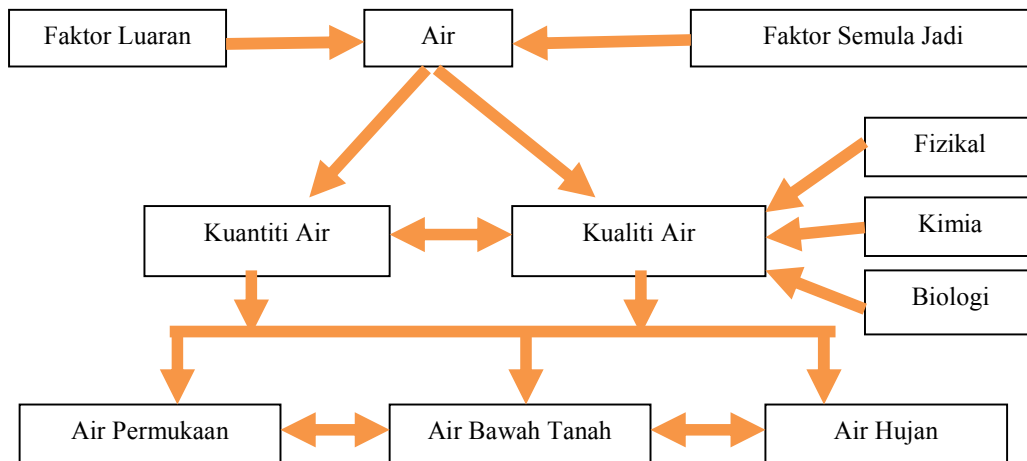
Air tulen tidak hanya wujud dalam bentuk H<sub>2</sub>O atau H-O-H, tetapi juga boleh dalam bentuk H<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup>. Ion H<sup>+</sup> atau proton boleh ditulis sebagai H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> atau H<sub>9</sub>O<sub>4</sub><sup>+</sup> dengan bergantung kepada di mana percantuman positif itu diedarkan kepada molekul satu atau empat air; manakala OH<sup>-</sup> boleh mengikat kepada tiga molekul air yang membentuk H<sub>7</sub>O<sub>4</sub><sup>-</sup> (Portal Rasmi Pharma Corama, t.t). Formula bagi penceraian tetap (K<sub>d</sub>) boleh ditulis sebagai (US Environmental Protection Agency, 1999);

$$K_d = \frac{[A]^x [B]^y}{[A_x B_y]}; \text{ dengan } A_x B_y \rightleftharpoons xA + yB;$$

di mana A, B dan AB adalah merujuk kepada kepekatan A dan B, dan kompleks AB, dan formula ini boleh digunakan dalam penceraian air (Portal Rasmi Pharma Corama, t.t);

$$K_d = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}.$$

Oleh itu, badan air boleh mengandungi pelbagai molekul organik dan bukan organik dalam larutan dan pencampuran. Hanya molekul air yang tulen boleh diganggu atau dicampur dengan bahan-bahan asing untuk menghasilkan bentuk molekul lain, di mana ianya juga dikenali sebagai air tercemar. Ketulenan air dapat diukur berdasarkan kualitinya. Kualiti air merujuk kepada sejauh mana ciri fizikal, ciri kimia, dan ciri biologi air telah berubah daripada keadaan semula jadinya. Kehadiran bendasing dalam air semula jadi adalah petanda bahawa air telah tercemar. Ciri-ciri fizikal, kimia dan biologi air dijelaskan dalam Rajah 2.



Sumber: Jain & Singh (2003)

Rajah 2. Sumber utama dan kualiti air dari perspektif penggunaannya

### Parameter fizikal, kimia dan biologi air

Parameter fizikal air boleh ditentukan melalui suhu air, warna, bau dan rasa air, jumlah pepejal terampai, ketelusan atau kekeruhan, jumlah pepejal terlarut, dan kadar kemasinan (Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia, 2009). Pada asasnya, suhu air adalah ukuran kandungan haba jisim air dan mempengaruhi kadar pertumbuhan dan kadar kelangsungan hidup bagi hidupan akuatik. Spesies ikan yang berbeza mempunyai keperluan yang berbeza untuk suhu optimum dan had daya tahan daripada suhu yang melampau (Davis & McCuen, 2005). Banyak ciri biologi dan fizikal-kimia sungai dipengaruhi oleh suhu. Kebanyakan haiwan akuatik dan tumbuhan kekal dalam julat suhu air tertentu, dan hanya sebilangan daripadanya boleh menerimanya dan bertolak sansur dengan perubahan yang melampau dalam suhu (Washington State Department of Ecology, 2002). Selain itu, jumlah pepejal terampai atau *Total Suspended Solid* (TSS) adalah merujuk kepada pengukuran yang melibatkan kekeringan-keberatan zarah yang terperangkap oleh penapis yang mempunyai sebesar saiz liang (kecuali parameter kimia dan mikrobiologi yang tidak boleh terperangkap dengan penapis) (Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia, 2009). Dengan kata lain, TSS adalah pengukuran zarah yang lebih besar daripada 0.45 µm. Kebanyakan bahan tercemar (contohnya toksik logam berat) boleh melekat kepada TSS dan ia boleh membahayakan habitat dan kehidupan akuatik. Peratusan TSS yang tinggi akan menghalang cahaya matahari untuk menembusi badan air (Avvannavar & Shrihari, 2007). Seterusnya, jumlah pepejal terlarut atau *Total Dissolved Solid* (TDS) boleh ditakrifkan sebagai pengukuran kandungan gabungan semua bahan-bahan organik dan bukan organik yang boleh wujud dalam bentuk cecair dalam molekul, ion atau mikrogranular bentuk terampai (Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia, 2009). TDS ini tidak boleh dikeluarkan dengan menggunakan penapis konvensional. Kehadiran bahan kimia organik sintetik (seperti bahan api, bahan pencuci, cat, pelarut, dan lain-lain) memberikan keadaan yang tidak menyenangkan dan menyakitkan hati melalui rasa, bau dan warna kepada ikan dan tumbuhan akuatik walaupun kehadiran pencemar ini adalah dalam kepekatan yang rendah (Avvannavar & Shrihari, 2007). Berikutnya adalah berkaitan dengan kekeruhan, di mana parameter ini adalah kunci utama dalam menguji kualiti air dalam sifat fizikal dengan mengukur kadar kemendungan atau kekaburan bendalir yang disebabkan oleh jumlah partikel atau zarah individu yang tidak dapat dilihat dengan menggunakan mata kasar (Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia, 2009). Kepekatan zarah yang tinggi boleh merosakkan habitat ikan dan organism akuatik yang lain (Said et al., 2004). Kekeruhan pula lebih memberikan perhatian kepada estetik. Air keruh yang tinggi akan memendekkan masa ujian dengan menggunakan penuras. Kebanyakan

organisma patogen yang bersalut bersama dengan zarah akan dilindungi daripada terkena pembasmian kuman (Avvannavar & Shrihari, 2007). Parameter fizikal bagi kadar kemasinan air juga diambil kira sebagai salah satu faktor yang boleh menjejaskan kualiti sumber air tulen. Jika dilihat secara umum, kadar kemasinan atau saliniti adalah pengukuran bagi kandungan garam terlarut dalam air, di mana faktor utama yang mengawal kadar kemasinan ini adalah aspek kimia sumber air semula jadi dengan proses biologi dan keadaan termodinamik (yang meliputi suhu dan tekanan) (Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia, 2009). Pengukuran bagi kadar kemasinan adalah dalam unit  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , di mana pecahan ujian boleh dikategorikan kepada beberapa bentuk seperti air tawar ( $< 0.5\%$ ), air paya ( $0.5\% - 30\%$ ), air masin ( $30\% - 50\%$ ), dan air garam ( $> 50\%$ ). Selalunya, suhu purata pada  $25\text{ }^\circ\text{C}$  akan memperlihatkan kadar kemasinan pada nilai 80 hingga  $130\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$ . Akhir sekali, ujian terhadap warna air, bau air, dan rasa air merupakan ujian minoriti yang dilakukan bagi kebanyakan penyelidik. Hal ini kerana ketiga-tiga ujian ini akan diuji bersama dengan parameter lain untuk memperlihatkan impak kesan yang melampau terhadap kualiti sumber air. Pengukuran bagi warna air adalah TCU, manakala bau air dan rasa air pula tidak mempunyai unit pengukuran yang tertentu (Jabatan Alam Sekitar Malaysia, 2012).

Parameter kimia pula merupakan unsur paling penting dalam penentuan kualiti sumber air berdasarkan piawaian Indeks Kualiti Air (IKA). Parameter kimia melibatkan oksigen terlarut (DO), permintaan oksigen biokimia (BOD), permintaan oksigen kimia (COD), pengukuran keasidan atau kealkalian larutan akueus (pH), dan nitrogen-ammonia ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) (Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia, 2009). Ujian pH ini bertujuan mengukur aktiviti (lebih kurang merujuk kepada sesuatu kepekatan larutan) ion hidrogen,  $\text{H}^+$ . Nilai pH air pula mengukur kekuatan asid dalam air (Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia, 2009). Nilai pH neutral bagi kualiti air adalah 7.0. Semakin rendah nilai pH tersebut, semakin tinggi aktiviti ion hidrogen,  $\text{H}^+$ , maka semakin asid bagi kualiti air tersebut (Davis & McCuen, 2005). Seterusnya, oksigen terlarut atau *Dissolved Oxygen* (DO) adalah mengukur jumlah oksigen bebas yang terdapat di dalam air (Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia, 2009). Pada asasnya, istilah DO boleh dinyatakan dalam milligram per liter dalam sesuatu kepekatan, atau menggunakan peratus ketepuan yang berdasarkan kepada suhu. Semakin sejuk air tersebut, semakin banyak oksigen yang dapat dipegang olehnya. Berikutnya, permintaan oksigen biokimia atau *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) merujuk kepada kekuatan bahan pencemar dari segi oksigen yang diperlukan untuk menstabilkan sisa domestik dan sisa industri (Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia, 2009). Untuk membolehkan degradasi bahan organik terosid berlaku sekurang-kurangnya dua hingga tujuh mg/L tahap DO perlu dikekalkan dalam uji kaji makmal seperti dalam keadaan semula jadi (Avvannavar & Shrihari, 2007). BOD juga mengukur jumlah makanan (terutama organik) untuk bakteria yang terdapat di dalam air. Ujian BOD memberikan gambaran kasar bagaimana sisa biodegradasi banyak hadir dalam air (Washington State Department of Ecology, 2002). *Chemical Oxygen Demand* (COD) atau permintaan oksigen kimia digunakan untuk mengukur jumlah sebatian teroksid organik dan bukan organik di dalam air (Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia, 2009). Kebanyakan aplikasi COD dapat menentukan jumlah pencemar teroksid yang terdapat dalam air permukaan. Ini menunjukkan bahawa COD adalah ukuran yang amat berkesan bagi menentukan kualiti air. COD diukur dalam milligram per liter (mg/L), iaitu jisim oksigen yang digunakan setiap liter larutan. Akhir sekali adalah unsur yang dikenali sebagai nitrogen-ammonia atau *Ammoniacal-Nitrogen* ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ). Bahan ini adalah ukuran bagi jumlah ammonia, pencemar toksik yang sering ditemui di tapak pelupusan sampah dan bahan buangan seperti kumbahan, baja cecair, dan cecair lain yang berkaitan dengan bahan buangan organik (Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia, 2009).  $\text{NH}_3\text{-N}$  juga digunakan secara meluas dalam ukuran kesihatan air yang melibatkan alam semula jadi seperti sungai atau tasik, mahupun takungan air buatan manusia; dan istilahnya juga digunakan dalam rawatan sisa dan penulenan sistem air. *Ammoniacal nitrogen* diukur dalam milligram per liter dan digunakan untuk menyatakan sistem rawatan air dan kumbahan. Sebagai maklumat tambahan, di bawah keadaan anaerobik, ammonia dioksidakan kepada nitrit dan seterusnya kepada nitrat melalui proses nitrifikasi; manakala di bawah *anoxic* (tanpa oksigen), nitrat yang terbentuk akan bertukar kepada gas nitrogen tanpa kehadiran oksigen melalui proses pendenitritan. Oleh itu, ammonia boleh menyebabkan rasa dan bau yang sangat tidak selesa serta menyebabkan masalah psikologi, dan boleh menyebabkan keracunan secara terus kepada manusia dan boleh mengganggu keseimbangan sistem air (Indah Water Official Portal, t.t).

Parameter biologi juga amat penting dan perlu diambil berat selepas parameter fizikal dan parameter kimia bagi menentukan kualiti air. Selalunya, koliform dan mikroorganisma yang lain adalah contoh-contoh terbaik untuk digunakan dalam menentukan parameter biologi. Bakteria koliform terdapat di dalam alam sekitar dan semua najis haiwan berdarah panas dan juga manusia. Bakteria koliform tidak akan menyebabkan penyakit yang melampau. Walau bagaimanapun, kehadiran bakteria ini terutama di dalam air minuman menunjukkan bahawa organisma penyebab penyakit (patogen) ini juga boleh hidup di dalam sistem air. Kebanyakan kehadiran patogen ini adalah disebabkan oleh bekalan air yang tercemar yang datang dari najis manusia atau haiwan. Namun begitu, ujian untuk membuktikan kehadiran patogen dalam air minuman adalah sangat rumit, mengambil tempoh masa yang lama dan sangat mahal. Oleh itu, satu pendekatan alternatif selalu digunakan bagi menilai parameter biologi dalam air, iaitu dengan menggunakan ujian terhadap bakteria koliform. Ia agak mudah dan murah. Sekiranya ujian sampel air menunjukkan terdapat bakteria koliform, maka sampel air tersebut boleh membantu dalam mengesan punca pencemaran dan memulihkan air minuman tersebut kepada keadaan yang lebih selamat. Bakteria koliform boleh dibahagikan kepada tiga jenis, iaitu *Total Coliform* (TC), *Fecal Coliform* (FC), dan *Escherichia coli* atau (E-coli). TC adalah bakteria yang biasanya terdapat dalam alam sekitar (seperti tanah atau tumbuh-tumbuhan) dan secara amnya ia tidak berbahaya. Analisis di makmal dapat mengesan kehadiran TC di dalam air minuman yang tidak terkesan oleh najis manusia atau haiwan. Oleh itu pencemaran air boleh berlaku alam sekitar dan bukannya berkait dengan najis. Walau bagaimanapun, jika pencemaran alam sekitar boleh memasuki ke dalam sesuatu sistem (contoh sistem air sungai), maka patogen juga boleh didapati di dalam sistem tersebut. *Fecal Coliform* adalah kumpulan bakteria koliform yang agak kecil selepas TC. Kebanyakan FC wujud dalam usus dan najis manusia dan haiwan. Sejak kebelakangan ini, kehadiran FC dalam sampel air terutama air sungai menunjukkan peratusan yang sangat tinggi dan ianya berkait dengan pencemaran yang berlaku berpunca daripada kegagalan pengurusan terhadap tangki septik. Sekiranya FC dalam sampel air adalah tinggi, maka keadaan ini boleh membawa kepada risiko yang tinggi untuk kehadiran patogen dalam air tersebut, dan ianya tidak digalakkan untuk berenang atau menjalankan aktiviti rekreasi yang lain (Said *et al*, 2004). Akhir sekali adalah E-coli atau *Escherichia coli*. E-coli adalah kumpulan yang paling kecil dalam FC dan merupakan bakteria yang tidak berbahaya. Ianya wujud dalam usus manusia dan haiwan yang berdarah panas. Walau bagaimanapun, sesetengah E-coli ini akan mendatangkan penyakit kepada manusia. Jika sampel air mengandungi E-coli, maka ianya boleh berpunca daripada pencemaran najis dan berisiko untuk kehadiran patogen. Kebiasaannya, unit yang digunakan untuk ujian ketiga-tiga koliform ini adalah sama, iaitu jumlah pengiraan per 100 ml. Secara keseluruhannya, walaupun kewujudan bakteria koliform ini tidak mendatangkan penyakit yang berbahaya kepada manusia, namun ianya boleh menyebabkan pelbagai masalah kesihatan seperti ciri-birit, kekejangan perut dan muntah-muntah kerana salmonella dan kolera adalah disebabkan oleh *vibro cholera*, jangkitan paru-paru disebabkan oleh *Mycobacterium* (Avvannavar & Shrihari, 2007). Oleh itu, adalah penting untuk mengenal pasti dan menyelesaikan masalah punca pencemaran air di kawasan punca air sebelum ianya memberikan impak negatif kepada kawasan lain.

### **Sumber pencemaran air di Malaysia**

Punca utama pencemaran air boleh dikategorikan kepada punca titik (point source) dan punca tidak bertitik (non-point source) (Jabatan Alam Sekitar Malaysia, 2012). Pencemaran punca titik merujuk kepada pelepasan sumber-sumber atau sisa-sisa buangan dari paip atau longkang terus memasuki badan air di lokasi tertentu (Jabatan Alam Sekitar Malaysia, 2012). Sumber-sumber ini juga termasuk pelepasan dari industri, loji rawatan kumbahan dan ladang ternakan (Jadual 2). Sementara itu, pencemaran punca tidak bertitik adalah berkait dengan resapan atau berselerak dan tidak mempunyai pelepasan tertentu, sebagai contohnya aktiviti pertanian dan larian air permukaan (Jabatan Alam Sekitar Malaysia, 2012). Dalam erti kata lain, kebanyakan pencemaran yang dihasilkan adalah disebabkan oleh aktiviti manusia, manakala yang lain adalah disebabkan oleh kejadian tanah runtuh dan bahagian lain di kawasan persekitaran bandar (Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia, 2009).

**Jadual 2. Komposisi sumber pencemaran air mengikut sektor di Malaysia**

Ranking	Jenis Mengikut Punca Pencemar	Bilangan Punca Pencemar
1	Loji Rawatan Kumbahan Najis (Sewage Treatment Plant)	
	i. Awam	5,800
	ii. Persendirian	4,083
	iii. Tangki Septik Persendirian	1,449,383
	iv. Tangki Septik Kuminiti	3,631
2	Intitusi Penyedia Khidmat Bekalan Makanan	192,710
3	Industri Pembuatan	4,595
4	Pasar Basah	865
5	Ladang Haiwan (Pig Farm)	754
6	Industri Asas-Tani	
	i. Kilang Memproses Buah Kelapa Sawit	72
	ii. Kilang Getah	436
Total		1,662,329

Sumber: Jabatan Alam Sekitar Malaysia, 2012 (<https://enviro.doe.gov.my/view.php?id=558>).

Terdapat beberapa kategori bahan pencemar yang menyumbangkan pencemaran air seperti yang dihuraikan sebagai berikut (Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia, 2009).

#### *Pencemar organik*

Pencemar ini terdiri daripada bahan organik, yang terdegradasi dengan pantas dan mempunyai potensi untuk menyebabkan kekurangan oksigen di badan air. Pencemar ini boleh diungkapkan dalam BOD, COD, jumlah karbon organik (TOC), minyak dan gris (O&G), dan lain-lain. Walau bagaimanapun, BOD dan COD adalah parameter yang paling biasa dikesan bagi menentukan kualiti air terutamanya untuk pemantauan dan kawalan pencemar (US EPA, 1983) (Pitt et al., 1993).

#### *Pencemar bukan organik*

Bahan pencemar bukan organik adalah merujuk kepada logam dan bahan sebatian organik yang lain. Beberapa logam beracun yang mempunyai kepekatan tinggi dan mempunyai kecenderungan untuk mengumpul ke dalam tisu flora dan fauna yang hidup dalam akuatik (Pitt et al., 1993). Logam berat yang biasa dijumpai dalam larian air permukaan adalah disebabkan oleh aktiviti perindustrian di kawasan bandar seperti zink (Zn), plumbum (Pb), tembaga (Cu), kromium (Cr), cadmium (Cd), nikel (Ni), dan lain-lain.

#### *Pencemar toksik*

Selain logam berat, bahan pencemar toksik wujud dalam air larian bandar dan kebanyakannya merujuk kepada racun rumpai dan racun perosak lain, PAHs, PCBs, dan unsur-unsur karsinogen lain termasuk logam berat yang paling biasa dan umum (Pitt et al, 1993) (Lee & Lee, 1993).

#### *Pencemar kimo-fizikal*

Bahan pencemar kimo-fizikal mungkin mempunyai signifikan dengan sumber pencemar punca tidak bertitik kerana ia melibatkan pH, TDS, kekonduksian, kekeruhan dan TSS. Kawasan perindustrian mungkin mewujudkan sedikit masalah terutama terhadap pH kerana ianya boleh mewujudkan potensi untuk menjana hujan asid dan larian air permukaan asid. Kebiasaan masalah yang paling kerap ditemui adalah kekeruhan dan kehadiran TSS yang sangat tinggi.



### *Pencemar mikrob*

Bahan cemar mikrob yang paling biasa wujud dalam air larian permukaan di kawasan bandar adalah bakteria koliform. *Total Coliform* dan *Fecal Coliform* sangat mudah dijumpai kerana kemudahan untuk bakteria ini bergerak ke dalam air larian permukaan adalah melalui sumber antropogenik atau limpahan pembentungan. Penyebaran penyakit disebabkan oleh bawaan air sering berlaku di negara-negara yang pesat membangun yang sering mengalami pencemaran air, di mana kadar kerosakan adalah lebih besar daripada masalah pemandapan (Field et al, 1993) (Wanielista & Yuosef, 1993).

Secara umumnya, punca pencemaran yang menyebabkan kualiti air terjejas boleh dikaitkan dengan rawatan loji kumbahan, industri pembuatan, pertanian, kawasan bandar dan perbandaran, serta pencemaran yang berlaku secara tidak langsung seperti aktiviti perladangan, aktiviti pembinaan atau pengubahsuaian, perkebunan, pengendalian sisa pepejal dan lain-lain (Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia, 2009). Menurut Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia (2009), pembangunan bandar yang pesat yang boleh menyumbang kepada punca pencemaran termasuklah hal yang berikut:

- pelepasan udara (bahan kimia, nutrien, dan logam);
- taman-taman perumahan, kawasan lapang awam, kawasan sensitiviti tinggi (TSS, racun perosak, baja dan lain-lain);
- sampah jalanan (daun, tin, botol, kertas, plastik dan lain-lain);
- haiwan liar dan domestik (najis, BOD, bakteria, dan lain-lain);
- kereta (COD, minyak motor, logam berat, tayar, minyak brek, dan lain-lain);
- air kumbahan yang dilepaskan tanpa rawatan dan limpahan pembentung (nutrien, BOD, bakteria, zink, tembaga dan lain-lain);
- industri kimia dan industri proses (bahan kimia, COD logam, dan lain-lain);
- aktiviti komersial seperti bengkel membaiki kenderaan di tanah lapang, pasar tani, dan lain-lain (TSS, COD, minyak & gris, dan lain-lain);
- tapak pembinaan (sampah, tanah, produk bangunan, runtuhan, dan lain-lain);
- kemalangan dan tumpahan (petrol, minyak, kimia, dan lain-lain);
- tapak pelupusan (nutrient, BOD, COD, logam, dan lain-lain).

### **Kesan pencemaran air terhadap kehidupan**

Pencemaran air sungai boleh menjejaskan kehidupan manusia, haiwan, dan benda tidak hidup di atas permukaan bumi. Pengetahuan tentang impak negatif terhadap benda hidup dan benda tidak hidup wajib diketahui untuk dijadikan pedoman dalam kehidupan seharian setiap individu manusia. Ini penting bagi mengelakkan pencemaran air daripada terus berlaku. Kesan pencemaran air boleh dikategorikan seperti berikut:

- menjejaskan kesihatan  
Pencemaran air boleh menyebabkan kuantiti sumber air berkurangan dan menyebabkan penyebaran bakteria, virus, dan parasit melalui bahan buangan. Selain itu, pencemaran air juga boleh menyebabkan penyakit bawaan air seperti cirit-birit, sakit perut dan keracunan makanan meningkat.
- kepupusan hidupan akuatik  
Pencemaran air akan menjejaskan binatang akuatik atau marin seperti ikan, udang, batu karang, penyu, dan sebagainya, serta merosakkan tumbuhan air seperti rumpai, pokok bakau, dan sebagainya. Air yang beracun akan mengurangkan kadar oksigen dalam air dan mengganggu kualiti ekosistem secara keseluruhan. Kepupusan tumbuhan air akan menjejaskan kuantiti spesies ikan dan menjejaskan rantaian makanan yang lain.

- menjejaskan faktor-faktor lain  
Pencemaran air seperti tumpahan minyak boleh menyebabkan peralatan nelayan rosak dan menjejaskan pendapatan melalui tangkapan ikan ekoran daripada kematian atau mengubah kawasan habitat. Selain itu, tumpahan minyak boleh menghasilkan suatu bau yang sangat tidak selesa dan menjejaskan terumbu karang, keadaan ini boleh menjejaskan kuantiti pelancong untuk datang melawat ke kawasan tersebut. Pencemaran sungai juga menyebabkan aktiviti rekreasi seperti berenang, berkayak, memancing, melihat pemandangan sungai dan lain-lain sukar dijalankan.

## Kesimpulan

Kesimpulannya, sumber air merupakan sumber alam semula jadi yang sangat diperlukan oleh semua organisma dan bukan organisma untuk meneruskan kehidupan seharian. Perkembangan dan kemajuan yang menuju ke arah permodenan telah menyebabkan kualiti dan kuantiti sumber air semakin berkurangan. Pelbagai aktiviti manusia secara langsung atau tidak langsung telah menyebabkan pelbagai kerosakan terhadap sumber air. Pencemaran air di Malaysia terutama air permukaan khususnya di beberapa batang sungai yang terletak berhampiran dengan kawasan perindustrian, boleh dikatakan berada pada tahap yang agak membimbangkan. Walaupun pelbagai langkah mengatasinya telah diambil, namun masalah tersebut belum lagi dapat diselesaikan secara total. Diramalkan bahawa keterjejasan kualiti dan kuantiti air pada masa hadapan akan menjadi penentu utama kualiti kehidupan manusia dan organisma lain di atas permukaan bumi ini. Kemajuan teknologi dan penerapan konsep pembangunan lestari dalam kehidupan manusia hanya dapat mengurangkan pencemaran air sungai daripada terus berlaku dalam peratusan yang sangat kecil. Namun sikap manusia yang tamak dan mementingkan diri sendiri menyebabkan pencemaran air terus berlaku. Masalah ini terus menghantui kehidupan manusia sendiri. Oleh itu, manusia perlu mengambil satu pendekatan dan inisiatif yang bernas untuk mengurangkan faktor penyumbang pencemaran air, mengkitarkan semula air tercemar, dan mengekalkan kualiti sumber air di atas permukaan bumi ini.

## Rujukan

- Avvannavar SM, Shrihari S (2007) Evaluation of water quality index for drinking purposes for river Netravathi, Mangalore, South India. Environmental Monitoring and Assessment.
- Cole JA (1998) Water resources: Introduction. In: Herchy RW, RW Fairbridge (eds) *Encyclopedia of hydrology and water resources*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Davis AP, McCuen RH (2005) *Storm water management for smart growth. Edisi Pertama*. Springer Science and Business Media.
- Field R, O'shea ML, Brown MP (1993) The detection and disinfection of pathogens in storm-generated flows. *Wat. Sci. Tech.* **28**, 311-315.
- Indah Water Official Portal (t.t). Sewage Facts. Available from: <http://www.iwk.com.my/v/knowledge-arena/ammonia>.
- Jabatan Alam Sekitar Malaysia (2012) Malaysia Environmental Quality Report. Ministry of Natural Resources and Environment. Available from: <http://enviro.doe.gov.my/view.php?id=558>.
- Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia (2009) Study on the river water quality trends and indexes in Peninsular Malaysia. *Water Resources Publication*, No. 2.
- Jain SK, Singh VP (2003) *Water resource systems planning and management. Development in water science. Edisi Pertama*. Elsevier Science.
- Lee GF, Lee AJ (1993) Water quality impacts of stromwater-associated contaminants: Focus on real problems. *Wat. Sci. Tech.* **28**, 231-240.

- Pitt R, Lalor M, Field R, Brown M (1993) The investigation of sources area controls for the treatment of urban stormwater toxicants. *Wat. Sci. Tech.* **28**, 271-282.
- Portal Rasmi Pharma Corama (t.t). Water, H<sub>2</sub>O, chemical characteristics explaining biological role. Available from: <http://www.pharmacorama.com/en/Sections/Elements-Water-1.php>.
- Said A, Stevens DK, Sehlke G (2004) An innovative index for evaluating water quality in streams. *Environmental Management* **34**, 406-414.
- US Environmental Protection Agency (August 1999). Understanding variation in partition coefficient,  $K_d$  values. *Office of Air and Radiation* **1**, 1-212.
- US EPA (1983) Final report of the nation-wide urban runoff program. U.S. Environmental Protection Agency, Water Planning Division, Washington DC.
- Wanielista M, Yousef YA (1993) *Stormwater management*. John Wiley & Sons Inc, New York.
- Washington State Department of Ecology (2002) Introduction to water quality index. Available from: <http://www.fotsch.prg/WQI.htm>.