

Suatu Ulasan Kritis Kajian Keperluan Pemfluoridaan Air di dalam Proses Rawatan Air

(A Critical Review on the Research of Water Fluoridation Necessity in a Water Treatment Process)

ROSIAH ROHANI^{1,2,*}, SITI AISHAH BASIRON^{1,3}, THINISHAA DHANA GOPAL¹, NURUL SURAYA ROSLI¹, NADIAH KHAIRUL ZAMAN¹, IZZATI IZNI YUSOFF¹ & HARLINA ALI HANAFIAH⁴

¹*Jabatan Kejuruteraan Kimia dan Proses, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

²*Pusat Penyelidikan Teknologi Proses Mampan (CESPRO), Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

³*Makmal Pusat, Loji Rawatan Air Bertam, Syarikat Air Melaka Berhad, 75300 Durian Tunggal, Melaka, Malaysia*

⁴*Bahagian Kesihatan Pergigian, Melaka State Health Department, Aras 3, Wisma Persekutuan, Jalan Business City, Bandar MITC, 75450 Ayer Keroh, Melaka, Malaysia*

Diserahkan: 4 Mei 2021/Diterima: 7 Ogos 2021

ABSTRAK

Pemfluoridaan air merupakan proses penambahan bahan fluorida di dalam sumber air terawat sehingga tahap fluorida di dalam air tersebut mencapai tahap yang disarankan oleh pihak berkuasa dan seterusnya memberi manfaat kepada pengguna untuk kebaikan gigi dan tulang. Kementerian Kesihatan Malaysia (KKM) telah mengesyorkan julat nilai kepekatan dos fluorida dalam sistem air di Malaysia adalah dalam lingkungan nilai 0.4 mg/L hingga 0.6 mg/L. Ion fluorida bukanlah suatu keperluan bagi pertumbuhan manusia tetapi dianggap penting untuk mengelakkan kerosakan gigi dan tulang, terutamanya kepada kanak-kanak. Kajian kritis yang telah dijalankan ini memfokuskan kepada keperluan pemfluoridaan air terawat di dalam proses rawatan air. Berdasarkan kajian ini, kandungan unsur fluorida dalam air mentah mempengaruhi proses pemfluoridaan air memandangkan kandungan unsur tersebut di dalam air minuman tidak boleh melebihi had yang ditetapkan oleh pihak berkuasa. Terdapat beberapa jenis bahan berfluorida yang biasa digunakan bagi pemfluoridaan air, antaranya natrium fluorida, natrium silikofluorida dan asid fluorosilik. Penambahan bahan berfluorida ini ke dalam air hendaklah mematuhi dos yang tepat bagi memberi manfaat kepada pengguna dan seterusnya mengelakkan penyakit berkaitan fluorida. Kesimpulannya, pengawasan yang berterusan terhadap kepekatan fluorida pada pelbagai peringkat sama ada dalam peringkat pengumpulan air mentah, rawatan air dan pengagihan air terawat adalah penting bagi memastikan air dengan kandungan fluorida yang optimum dapat dibekalkan kepada pengguna.

Kata kunci: Ion fluorida; kerosakan gigi; nilai piawai; pemfluoridaan; rawatan air

ABSTRACT

Water fluoridation is a process of adding fluoride into treated water source until the level of fluoride in the water reaches the level recommended by the authorities and in turn benefitting the consumers for good dental and bones. The Ministry of Health Malaysia (KKM) has set a range for fluoride dosage concentration in water systems in Malaysia which are around 0.4 mg/L to 0.6 mg/L. Fluoride ion is not essential for human growth, but it is more beneficial in prevention of dental and bone caries, especially for children. This critical study has been conducted to focus on the necessity of fluoridation of treated water in the water treatment process. Based on this study, the concentration of fluoride in raw water affects the water fluoridation process as the concentration of this element in the drinking water should not exceed the limits set by the authorities. There are several types of fluoridating agent that are commonly used for water fluoridation, including sodium fluoride, sodium silicofluoride and fluorosilicic acid. The addition of the fluoridating agent into the water must comply with the accurate dosage to benefit the consumer, thus preventing fluoride-related diseases. In conclusion, continuous monitoring of fluoride concentration at various levels such as in raw water collection, water treatment and treated water distribution is important to ensure that water with optimal fluoride concentration can be supplied to consumers.

Keywords: Dental caries; fluoridation; fluoride ion; standard value; water treatment

PENGENALAN

Rawatan air dijalankan bagi memenuhi permintaan terhadap bekalan air bersih. Peningkatan permintaan terhadap air bersih adalah disebabkan oleh pertumbuhan ekonomi global yang pesat dan kenaikan jumlah populasi dunia yang kini mencecah 7.7 bilion orang (Boretti & Rosa 2019). Populasi dunia juga dianggarkan akan terus meningkat dalam tempoh 30 tahun yang akan datang. Hal ini akan memberi impak yang besar terhadap bekalan air bersih dunia (Piesse 2020). Proses rawatan air diperlukan bagi merawat sumber air mentah sebelum ia boleh dibekalkan kepada pengguna. Ini kerana sumber air mentah terdedah kepada pencemaran, manakala kandungan mineral dan logam yang berlebihan secara semula jadi yang terdapat di dalam air boleh menyebabkan penyakit. Seperti diketahui umum, air merupakan salah satu keperluan harian utama sama ada diguna pakai di peringkat industri, sanitasi, atau pertanian. Justeru, air dilihat sebagai satu medium penting untuk meningkatkan kadar kesihatan awam. Kehadiran fluorida di dalam air didapati memainkan peranan penting untuk meningkatkan kesihatan gigi dalam kalangan masyarakat, manakala proses pemfluoridaan, iaitu proses penambahan fluorida di dalam air merupakan salah satu pencapaian penting dalam meningkatkan kesihatan awam.

Pemfluoridaan air adalah kaedah yang paling ekonomi dan berkesan untuk membekalkan fluorida kepada masyarakat. Proses pemfluoridaan dipercayai dapat meningkatkan komposisi mineral di dalam air, tanpa perlu mengubah bau, rasa atau penampilan air minuman tersebut (Lamberg et al. 1997). Proses ini merupakan salah satu proses terakhir yang biasanya diaplikasikan di dalam sistem rawatan air. Tidak seperti proses rawatan lain seperti penggumpalan, pengelompokan dan penapisan, pemfluoridaan tidak melibatkan sebarang rawatan air, tetapi ia adalah proses yang melibatkan penambahan bahan fluorida ke dalam bekalan air terawat pada tahap yang disyorkan oleh pihak berkuasa tempatan. Ia dilakukan bertujuan untuk memberi manfaat kepada komuniti melalui penggunaan fluorida tersebut. Sehingga kini, beberapa jenis bahan fluorida telah digunakan di seluruh dunia sebagai agen pemfluoridaan antaranya asid fluorosilik, natrium fluorida dan natrium silikofluorida (Copeland 2016).

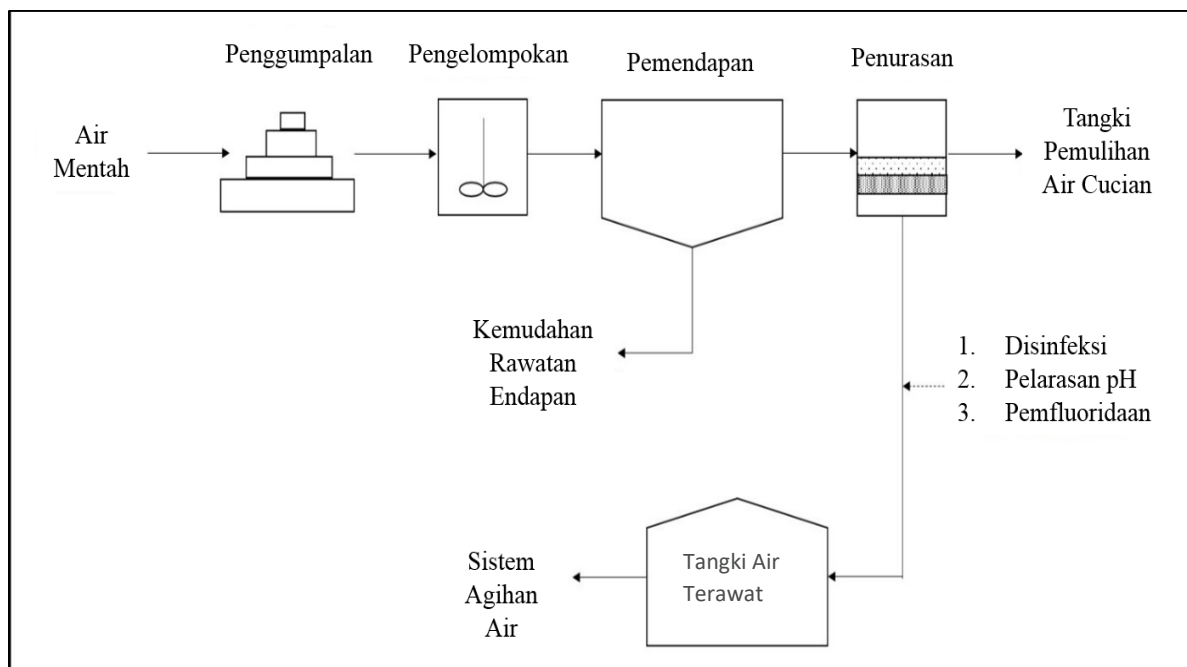
Penurunan kes lazim berkaitan gigi, antaranya seperti pembentukan karies gigi, di peringkat global, adalah dipercayai sebahagian besarnya disebabkan oleh penggunaan fluorida secara meluas (Peckham & Awofeso 2014). Manfaat pengambilan air berfluorida secara semula jadi terhadap kesihatan gigi telah diakui lebih dari seabad yang lalu (Peckham & Awofeso 2014).

Hampir kesemua sumber air, sama ada daripada sumber air bawah tanah atau air permukaan mengandungi kandungan fluorida yang sedia ada di dalamnya secara semula jadi. Akan tetapi kehadiran fluorida biasanya adalah terlalu sedikit serta tidak mampu untuk mencegah kerosakan gigi. Kekangan ini seterusnya telah memangkin usaha penyelidikan untuk dijalankan bagi menangani kekurangan fluorida di dalam air melalui pemfluoridaan air secara buatan. Penyelidikan berkaitan pemfluoridaan air telah diperkenalkan lebih dari 70 tahun yang lalu dan dianggap sebagai salah satu daripada sepuluh kejayaan penting dalam kesihatan awam pada abad ke-20 (Das et al. 2020). Fluorida berasaskan fluorin adalah sama seperti klorin, iaitu di dalam kumpulan halogen yang tidak ditemui dalam keadaan yang bebas. Unsur fluorida (F⁻) ini akan bergabung dengan unsur lain untuk membentuk sebatian fluorida yang stabil. Fluorida tidak dianggap sebagai komponen yang sangat diperlukan dalam tumbesaran manusia, tetapi unsur ini telah terbukti mampu memberi manfaat dalam mencegah karies gigi (Ackermann-Liebrich et al. 2011). Bertitik tolak daripada hal ini, kaedah pemfluoridaan yang terancang di dalam air minuman serta penggunaan bahan fluorida dalam produk penjagaan kebersihan mulut seperti ubat gigi, bahan pembilas mulut, makanan dan suplemen telah diamalkan di sebahagian tempat di dunia sebagai langkah perlindungan dan pencegahan daripada karies gigi sejak awal abad ke-20 lagi (Department of Health and Human Services, U.S. 2015).

Namun begitu, pengambilan bahan fluorida secara berlebihan boleh menyebabkan berlakunya fluorosis pada gigi dan tulang. Bagi memastikan penggunaan fluorida pada kadar yang selamat, had pengambilan harian fluorida sebanyak 1.5 mg/L telah disyorkan oleh Pertubuhan Kesihatan Sedunia (WHO) dan diletakkan sebagai garis panduan antarabangsa untuk penetapan kadar kandungan fluorida di dalam air minuman. Walau bagaimanapun, WHO juga mengesyorkan agar had ini disesuaikan dengan keadaan tempatan seperti iklim, penggunaan air dan diet (Copeland 2016; Fawell et al. 2006; World Health Organization 2011). Di Malaysia, sebagai inisiatif kesihatan awam untuk memerangi karies gigi, pemfluoridaan bekalan air awam telah dilaksanakan dengan kepekatan 0.7 mg/L sejak awal tahun 1972 (Oral Health Division Ministry of Health 2006). Walau bagaimanapun, dengan mengambil kira penggunaan sumber fluorida lain seperti ubat gigi berfluorida dan juga tahap pengambilan air yang lebih tinggi akibat keadaan iklim yang lebih panas di Malaysia, tahap kepekatan fluorida optimum di dalam air terawat ini kemudiannya telah dikurangkan daripada 0.7 mg/L

kepada 0.5 mg/L. Akan tetapi, pada tahun 2005, Garis Panduan Kebangsaan untuk kualiti air minuman telah dikuatkuasakan pada julat kepekatan baharu, iaitu di

antara 0.4 mg/L hingga 0.6 mg/L (Oral Health Division Ministry of Health 2006; Ministry of Health Malaysia 2004).



RAJAH 1. Sistem rawatan air di loji rawatan air

INDUSTRI AIR SISTEM RAWATAN AIR

Dalam penghasilan air minuman yang bersih dan berkualiti, pengoptimuman proses rawatan air minuman adalah aspek penting yang perlu dititikberatkan. Secara lazimnya, proses rawatan air merangkumi beberapa proses berikut iaitu; penggumpalan (koagulasi), pengelompokan (flokulasi), pemendapan, penurasan dan diikuti dengan disinfeksi, pelarasan pH dan pemfluoridaan. Bergantung kepada kualiti air mentah diterima oleh loji rawatan, setiap unit dapat dioptimumkan untuk mencapai piawaian kualiti air yang diinginkan, baik pada tahap reka bentuk proses rawatan air mahupun operasi loji rawatan air (Angreni 2010). Rajah 1 menunjukkan skematik proses rawatan air yang umumnya berlaku di loji-loji rawatan air untuk menghasilkan air minuman daripada air mentah.

Air mentah yang dibekalkan kepada loji rawatan seperti dalam Rajah 1 boleh didapati daripada pelbagai sumber seperti sungai, tasik, empangan atau air bawah tanah. Selain itu, terdapat satu sumber air yang kian popular di Malaysia sejak diperkenalkan pada tahun

2016, yang mana sistem simpanan air ini digunakan bagi membekalkan air mentah yang mencukupi di negeri Selangor, Malaysia, dikenali sebagai sistem *hibrid off river augmentation* (HORAS) (Faradiella et al. 2016). Sistem ini juga dipercayai mampu menampung bekalan air mentah pada musim kemarau (Zafira et al. 2015). Secara lazimnya, dalam proses rawatan air, loji rawatan air akan memperoleh air mentah yang mengalir daripada permukaan punca air yang dinyatakan melalui paip-paip air secara aliran graviti. Sumber air yang mengalir secara graviti ini akan melalui rangkaian jaring penapis, bertujuan untuk menyingkirkan objek yang besar seperti dedaun, hidupan air bersaiz kecil dan sederhana serta ranting-ranting kayu. Air bertapis ini seterusnya di pam ke lokasi loji rawatan air untuk mula menjalani proses rawatan.

Selepas itu, air mentah ini didedahkan kepada proses penggumpalan kerana proses ini merupakan proses terpenting dalam rawatan air sisa industri dan air (Sahu & Chaudhari 2013). Bahan penggumpal tertentu diperkenalkan kepada air bagi meneutralkan

cas elektrik zarah-zarah yang terdapat ke dalamnya yang menyebabkan ia bergumpal sesama sendiri (Schulz & Okun 1983). Di Malaysia, kebanyakan syarikat pengendali air menggunakan cecair aluminium sulfat (alum) atau polialuminium klorida (PAC) sebagai bahan penggumpal kimia bagi membantu proses penggumpalan ini. Air dan zarah tergumpal (flok) yang terbentuk melalui proses rawatan ini akan dialirkan ke tangki pemendapan dengan halaju aliran yang perlahan supaya zarah flok berat yang terbentuk dapat termendap ke dasar tangki. Pemendapan adalah proses rawatan air fizikal yang menggunakan konsep graviti untuk memisahkan pepejal terampai daripada air (O'Melia 1998). Kemudian, pulsator dan penjernih digunakan untuk menyingkirkan pepejal yang terendap secara berterusan di dalam tangki pemendapan yang disebabkan oleh proses pemendapan.

Air jernih seterusnya mengalir melalui penapis pasir yang direka untuk mengeluarkan zarah-zarah halus bersaiz mikro di dalam air. Penapis atau penuras ini diisi dengan lapisan pasir dan batu kerikil. Unit penapis ini biasanya dibersihkan secara berkala dengan menggunakan kaedah pembersihan berbalik. Proses penurasan berperanan untuk menjernihkan lagi air dan juga meningkatkan keberkesanan proses disinfeksi yang akan dijalankan kemudiannya (Angreni 2010). Selain proses-proses tersebut, disinfeksi, pelarasan pH dan pemfluoridaan adalah beberapa proses akhir lain yang terlibat di dalam proses rawatan air, sebelum air terawat diagihkan kepada pengguna.

KEPENTINGAN DAN FAKTOR YANG MENYUMBANG KEPADA PENERIMAAN BEKALAN AIR BERSIH

Air begitu berharga dalam kehidupan seharian manusia. Tubuh badan manusia mengandungi 75% air. Air adalah sangat penting untuk meneruskan kesinambungan hidup dan mengekalkan homeostasis tubuh badan. Selain itu, air juga digunakan untuk mengekalkan suhu badan, menyingkirkan bahan yang bertoksik daripada badan dan berfungsi mengangkut nutrien di dalam tubuh badan. Akan tetapi, konteks air yang bersih adalah lebih dititikberatkan bagi memastikan pengguna terhindar daripada sebarang penyakit yang berbahaya seperti cholera, hepatitis, typhoid dan cirit-birit. Penyakit yang berpunca daripada bawaan air yang tercemar mudah berjangkit disebabkan oleh sistem bekalan air minuman yang tidak bersih serta boleh memudaratkan manusia. Kebanyakan kawasan di serata pelusuk dunia menerima sumber air daripada air permukaan seperti

air hujan, sungai dan tasik (Katsanou & Karapanagioti 2019). Namun, masalah bakal timbul apabila terdapat haiwan mahupun manusia menggunakan air tersebut untuk pelbagai tujuan yang secara tidak langsung boleh mencemarkan air tersebut dengan pembuangan sisa ke dalamnya lalu membuatkan ia tidak lagi selamat untuk digunakan.

Terdapat pelbagai faktor yang boleh menyumbang kepada penerimaan bekalan air yang bersih. Faktor-faktor ini termasuklah faktor fizikal, demografi, sosioekonomi dan geopolitik. Cabaran topografi merupakan salah satu faktor fizikal yang boleh membatasi penerimaan air bersih terhadap pengguna terutamanya bagi penduduk pedalaman. Keadaan muka bumi sesuatu kawasan boleh mempengaruhi sistem pengagihan air. Ini kerana pemasangan sistem pengagihan air jenis konvensional di kawasan-kawasan yang mempunyai bentuk topografi yang sukar dicapai memerlukan kos pemasangan yang tinggi. Kajian yang telah dijalankan terhadap beberapa kawasan di Nigeria menunjukkan bahawa keadaan topografi yang sukar dicapai telah menghalang usaha untuk membangunkan sistem pengagihan air secara perpaipan (Obeta & Nwankwo 2015). Ini mengakibatkan air bersih gagal dibekalkan kepada pengguna di kawasan tersebut. Selain itu, faktor cuaca juga memainkan peranan yang penting dalam memperoleh air bersih di kawasan tertentu. Sebagai contoh, sesetengah negara menghadapi musim lembap serta musim kering yang boleh menyebabkan masalah bekalan air yang tidak menentu. Dalam keadaan ini, kebiasaannya, bekalan air sedia ada tidak dapat menampung keperluan sepanjang tahun akibat daripada perubahan cuaca yang berlaku. Pengerangan sumber air utama seperti sungai, telaga dan tasik pada musim kering memberi kesan kepada bekalan air mentah dan seterusnya memberi kesan buruk terhadap kadar perolehan air bersih. Faktor fizikal lain seperti kemudahan infrastruktur pengagihan air yang tidak berkualiti dengan kapasiti peralatan yang rendah didapati tidak mampu untuk memenuhi keperluan pengguna. Selain itu, kekurangan dana untuk menyelenggara kemudahan rawatan air dan sistem pengagihan air juga boleh menurunkan kadar perolehan air terhadap pengguna. Beberapa perkampungan di Tanzania dilaporkan menghadapi kesukaran mendapatkan bekalan air bersih akibat infrastruktur pengagihan air yang tidak diselenggara dengan baik oleh pihak bertanggungjawab (Zaina et al. 2019). Di Malaysia, isu dan masalah bekalan air bersih masih mampu memberikan parti politik yang bertanding kelebihan untuk meraih sokongan ketika pilihan raya, seperti yang berlaku di Negeri Kedah

pada tahun 2018. Hal ini kerana, masalah bekalan air telah mengganggu penduduk sejak sekian lama (Mohd Firdaus & Arba'iyah 2018). Perkara yang sama juga tidak mustahil untuk berlaku di tempat lain sekiranya pihak berwajib tidak menyediakan kemudahan yang sewajarnya bagi membekalkan air bersih.

Faktor demografi dan sosio-ekonomi sesuatu kawasan juga berkait rapat dengan tahap kebolehterimaan air bersih. Antara faktor demografi dan sosio-ekonomi tersebut meliputi pendidikan, pendapatan dan saiz isi rumah (Adams et al. 2016). Keadaan kehidupan masyarakat dipercayai boleh mempengaruhi kadar perolehan air bersih. Isi rumah yang mempunyai status sosio-ekonomi yang tinggi berpeluang untuk mendapatkan air bersih yang berkualiti dengan jumlah yang banyak kerana mereka mempunyai keupayaan kewangan yang baik untuk memperoleh air yang bersih. Faktor seperti ini boleh dilihat dengan jelas di negara-negara kurang membangun serta negara membangun. Walau bagaimanapun, Maswati et al. (2020) melaporkan bahawa faktor pendidikan tidak mempunyai kesan yang signifikan terhadap kadar penerimaan air bersih oleh sesebuah isi rumah memandangkan isu utama penerimaan ini adalah lebih bersandar kepada kemampuan isi rumah tersebut. Bagi faktor geopolitik pula, penduduk yang tinggal di bahagian hilir sangat bergantung kepada aliran air sungai yang mengalir dari bahagian hulu untuk mendapatkan bekalan air yang bersih dengan kualiti air yang terjamin. Namun begitu, lanskap geopolitik pada masa kini adalah agak berbeza kerana boleh melibatkan perkongsian sumber air antara negara mahupun negeri, seperti yang berlaku di antara Malaysia dan Singapura (Penyata Rasmi Parlimen Dewan Rakyat 2000). Oleh itu, pertikaian mengenai sumber air ini dapat diselesaikan dengan penggubalan undang-undang air di peringkat antarabangsa mahupun kebangsaan bagi menjamin akses setiap negara/negeri yang terlibat terhadap sumber air tersebut. Pendekatan pengurusan lembangan sungai secara bersepadu (IRBM) telah dipromosikan oleh Pertubuhan Sungai Antarabangsa (IRF), iaitu sebuah organisasi bukan kerajaan yang mempunyai rangkaian jaringan yang luas di seluruh dunia, supaya pengurusan sumber ini dapat dilestarikan (International River Foundation 2021). Ia merupakan proses atau kaedah pengurusan yang menyelaras perkara berkaitan pembangunan air, tanah dan sumber berkaitan yang berasaskan sumber air, termasuklah berkaitan pemuliharaan ekosistem air di lembangan sungai untuk dimaksimumkan perolehannya dari segi ekonomi dan juga sosial (International River Foundation 2021; Jones et al. 2006).

ISU BEKALAN AIR DI MALAYSIA DAN NEGARA LAIN

Malaysia menerima lebih daripada 25,000 meter padu sumber air yang boleh diperbaharui per kapita daripada sistem sungai yang meliputi lebih daripada 150 sungai (Huang et al. 2015). Air yang diperbaharui bermaksud air segar yang boleh diperoleh dari permukaan bumi seperti daripada sungai dan tasik. Ia merupakan sumber boleh diperbaharui kerana terhasil melalui proses kerpasan daripada atmosfera dalam bentuk kabus, hujan mahupun salji. Jumlah air yang boleh diperbaharui yang diterima di Malaysia dilaporkan melebihi jumlah air yang diterima di kawasan lain di dalam dunia ini. Kebanyakan sumber air segar/mentah di Malaysia berasal daripada sungai yang secara teknikalnya berada di bawah bidang kuasa kerajaan negeri. Sistem rawatan air konvensional telah digunakan pada masa lalu untuk merawat air mentah yang melibatkan proses penskrinan, penggumpalan, penurasan pasir, disinfeksi dan seterusnya pemfluoridaan. Namun begitu, dalam arus pembangunan industri, kualiti air sungai semakin merosot dan ciri-ciri air menjadi lebih kompleks dengan pembentukan bahan cemar yang berbahaya. Rawatan konvensional tidak lagi berkesan untuk merawat dan menyingkirkan bahan pencemar daripada air dan ini boleh menyebabkan bahan tersebut memasuki rangkaian pengagihan dan pembekalan air.

Satu kajian tinjauan yang telah dilakukan lebih sepuluh tahun dahulu untuk mengetahui tahap kesedaran responden mengenai isu air, akses dan persepsi responden terhadap kualiti air minuman dan langkah yang diambil oleh isi rumah untuk meningkatkan kualiti air. Kebanyakan responden telah meletakkan kadar kualiti air yang telah diagihkan ke rumah-rumah adalah kurang memuaskan (Aini et al. 2007). Sebenarnya, isu air minuman merupakan isu yang paling penting kerana terdapat sekitar 2.2 bilion orang di dalam dunia ini yang tidak mempunyai bekalan air yang bersih untuk diminum dan seterusnya menyebabkan pelbagai penyakit (United Nations 2019). Sistem pengagihan air awam telah diperkenalkan buat pertama kalinya di Malaysia pada tahun 1804 di Pulau Pinang. Pelbagai akta dan peraturan telah diubah suai dan diperkenalkan antaranya Peraturan Air 1920, Akta Kualiti Alam Sekitar 1974, Akta Pemuliharaan Tanah 1960, Program Pengawasan Kualiti Air Minum Nasional (NDWQSP) 1983, Perintah Penilaian Impak Sekitaran (EIA) 1987 untuk memastikan air yang diagihkan kepada pengguna adalah selamat. Antara permasalahan yang timbul berkaitan isu air minuman ialah air yang tidak dirawat dengan baik, bekalan air mentah/terawat yang tidak mencukupi, penggunaan bahan kimia dalam proses rawatan air yang boleh memberi

impak kepada kualiti air, kandungan warna, bau atau rasa yang tinggi, kehadiran bendasing dan juga kekeruhan air yang tinggi. Pelbagai langkah intensif perlu dilakukan oleh isi rumah untuk memastikan keselamatan air minuman yang diambil, antaranya dengan menutup tangki penyimpanan air dan mendidih air paip atau air botol supaya bakteria dapat dihapuskan.

Sumber air daripada air permukaan yang berasal dari Sungai Langat, Sungai Selangor dan Sungai Kinta di pantai Barat Semenanjung Malaysia digunakan secara meluas sebagai air minuman. Sumber air bawah tanah juga digunakan sebagai air minuman di beberapa negeri di Malaysia seperti Kelantan, Terengganu, Pahang, Perlis, Kedah, Sabah dan Sarawak (Ong et al. 2007). Isu kepekatan kandungan logam yang berlebihan di dalam air juga merupakan masalah yang sering dihadapi oleh para pengguna. Faktor yang menyumbang kepada pencemaran air minuman tersebut adalah seperti berlakunya proses larut lesap logam berat daripada saluran paip yang digunakan, serta kehadiran logam tersebut secara semula jadi dalam sumber air. Logam berat seperti ferum, aluminium dan arsenik boleh berada di dalam tanah secara semula jadi. Kajian di Selangor menunjukkan terdapat kepekatan logam yang pelbagai di dalam lembangan Sungai Selangor. Arsenik, Ferum dan Mangan berada pada kepekatan melebihi nilai piawaian manakala Argentum, Aluminium, Cadmium, Kobalt, Kromium, Kuprum, Magnesium, Nikel, Plumbum dan Zink berada pada kepekatan di bawah had Kualiti Air Minuman Kebangsaan Malaysia dan KKM (Faridah et al. 2018). Berdasarkan nilai indeks pencemaran logam berat (HPI) yang diperolehi daripada kajian yang telah dijalankan pada tahun 2013-2014, didapati bahawa pencemaran Sungai Selangor tidaklah begitu kritikal pada waktu tersebut. Kajian ini juga tidak melaporkan tentang penemuan kandungan fluorida di dalam air mentah kerana ia hanya memfokuskan kepada kandungan logam sahaja.

Senario yang berbeza dapat dilihat di luar negara seperti di Switzerland yang terkenal dengan sumber air berkualiti tinggi. Namun, kualiti airnya didapati berubah-ubah disebabkan oleh faktor perubahan iklim serta kehadiran bahan pencemar yang kompleks yang terdapat di sungai, tasik dan air bawah tanah (EAWAG 2008). Perubahan iklim menyumbang kepada pemanasan sumber air yang boleh memberi implikasi kepada kualiti air. Kebergantungan penduduk kepada punca air bawah tanah pula boleh mendedahkan mereka kepada risiko kehadiran bahan pencemar semula jadi. Selain itu, peningkatan kepekatan gas rumah hijau (GHG) bukan sahaja merangsang peningkatan suhu udara, malah

menyebabkan peningkatan suhu air juga. Suhu air tasik yang tinggi boleh memberi kesan terhadap kualiti air disebabkan oleh pembiakan cyanobacteria (alga biru-hijau) yang bersifat toksik dan berbau. Sumber air minuman di Switzerland berasal daripada mata air (43%), 40% daripada punca air bawah tanah, 17% daripada tasik. Rawatan air seperti penapisan membran dengan gabungan penapisan ultra, kaedah pengozonan dan penapisan menggunakan karbon teraktif merupakan antara kaedah rawatan yang berkesan bagi membekalkan air minuman (Rosiah et al. 2021). Kaedah ini juga dijamin boleh mengagihkan air bersih ke rumah tanpa perlu melalui proses pengklorinan dan selamat untuk diminum (EAWAG 2008). Namun, penambahan fluorida di dalam air terawat tidak dinyatakan dalam penulisan ini.

ION FLUORIDA

Fluorin merupakan unsur bahan kimia yang sangat elektronegatif dan tidak ditemui di permukaan bumi dalam keadaan unsur. Ion fluorida (F⁻) merupakan unsur fluorin yang terdiri daripada kumpulan halogen. Ion fluorida mempunyai afiniti terhadap tisu bermineral di dalam tubuh badan (Ullah & Zafar 2015). Fluorin membentuk sebatian fluorida dan merupakan unsur yang ketujuh belas mengikut kekerapan untuk membentuk unsur yang mewakili 0.06 ke 0.09% permukaan kerak bumi. Ion fluorida wujud dalam mineral, batu dan tanah termasuklah fluorospar, kriolit, apatit, mika, hornblende dan batu pertama seperti topaz dan tourmalin. Fluorida meresap masuk ke dalam air bawah tanah melalui pelbagai medium antaranya melalui hujan panas, proses kerpasan dan kaedah larut lesap selain daripada sumber antibiotik, baja, racun yang mengandungi natrium fluorida dan sisa makanan serta minuman yang mengandungi ion fluorida dalam air (Rawat & Patel 2018).

Air dengan kandungan ion fluorida yang tinggi banyak dijumpai berdekatan dengan kawasan pergunungan tinggi dan juga di kawasan geologi asal marin. Antara tempat pergunungan yang mempunyai kandungan air dengan kepekatan ion fluorida yang tinggi adalah di Republik Arab yang melalui laluan Jordan, Mesir, Libya, Algeria, Maghribi dan Afrika Timur. Fluorida pernah dilaporkan sebagai punca masalah kesihatan utama penduduk di beberapa kawasan di Afrika Timur dengan bacaan fluorida di dalam sumber air bawah tanahnya didapati mencecah sehingga 2,800 mg/L (Malago et al. 2017). Kewujudan ion fluorida bebas di dalam tanah bergantung kepada keterlarutan asli sebatian fluorida tersendiri, keasidan tanah dan kehadiran mineral yang lain serta kandungan air di dalam tanah. Menurut kajian yang

dilakukan di Amerika Syarikat, terhadap 30 jenis tanah yang berbeza, 20 hingga 500 mg/kg fluorida di temui pada kedalaman 0 hingga 30 cm tanah manakala tanah di Idaho dan Tennessee pula menunjukkan kandungan ion fluorida yang tinggi iaitu 3,780 mg/kg dan 8,300 mg/kg (World Health Organization 1994). Ini berbeza dengan keputusan kandungan fluorida di dalam air mentah di Malaysia yang tidak begitu dititikberatkan kerana kepekatannya yang amat rendah, atau tiada secara semula jadi. Ini menyebabkan adanya keperluan untuk menambahkan fluorida semasa proses rawatan air (Shaharuddin et al. 2009).

Kandungan ion fluorida di dalam air yang wujud pada permukaan bumi adalah berbeza. Air laut mempunyai kandungan ion fluorida sekitar 1.2 hingga 1.4 mg/L manakala bagi air sungai, tasik dan telaga pula kepekatan ion fluorida adalah berbeza-beza berdasarkan sentuhan air dengan tanah dan unsur-unsur lain pada persekitaran (Association of State and Territorial Dental Directors 2016). Selain itu, air yang terperangkap di dalam proses pempadaman disebabkan pengendapan dan air panas daripada gunung berapi mempunyai kandungan fluorida dalam lingkungan 3 hingga 6 mg/L. Pembentukan geologi sesuatu kawasan bukanlah satu penunjuk yang tepat mengenai kepekatan fluorida di dalam air bawah tanah kerana terdapat variasi yang signifikan terhadap taburan batu batan dan kandungan fluorida yang terlarut dalam air di kawasan tersebut (World Health Organization 1994). Selain itu, fluorida juga terdapat di dalam udara. Kandungan fluorida dalam udara adalah kebanyakannya berasal daripada habuk yang mengandungi fluorida daripada dalam tanah dan juga gas hasil daripada sisa industri.

Makanan juga mengandungi kandungan fluorida semula jadi. Kandungan fluorida di dalam makanan dan minuman yang mentah adalah berbeza-beza bergantung kepada jenis makanan dan minuman tersebut. Sebagai contoh, kandungan fluorida sebanyak 21 hingga 761 mg/kg dilaporkan telah ditemui dalam protein ikan manakala bagi daun teh pula kepekatan fluorida sekitar 3.2 hingga 400 mg/kg telah dikesan. Selain itu, air yang berfluorida juga digunakan dalam pemprosesan makanan untuk meningkatkan kandungan fluorida dalam makanan yang mempunyai kandungan ion fluorida yang rendah (World Health Organization 1994).

Dalam bidang pergigian, ion fluorida sangat berkait rapat dengan pertumbuhan gigi kerana sifat ion fluorida itu sendiri yang bersifat antikariogenik dan antimikrob. Pengambilan ion fluorida melebihi had yang ditentukan

oleh WHO boleh menyebabkan fluorosis gigi dan tulang, kerosakan pada tisu lembut seperti hati, buah pinggang, paru-paru, meningkatkan kanser tulang, kesan neurotoksik dan tekanan darah tinggi (Bassin et al. 2006; Fordyce 2019; Mohammadi et al. 2017; Yousefi et al. 2018). Bagi mengurangkan bahaya toksik daripada ion fluorida, Institut Perubatan Amerika Syarikat telah mengesyorkan pengambilan ion fluorida yang tidak melebihi 0.05 ke 0.07 mg/kg kepada kanak-kanak yang berumur 12 tahun ke atas. Manakala, untuk mengelakkan berlakunya fluorosis gigi, pengambilan ion fluorida mestilah tidak melebihi 0.10 mg/kg (Ullah & Zafar 2015). Pelbagai kaedah dan medium telah digunakan bagi membekalkan ion fluorida kepada pengguna antaranya melalui air minuman, susu, garam dan ubat gigi (Aoun et al. 2018).

BAHAN BERFLUORIDA

Pengenalan kepada Bahan Fluorida

Bahan fluorida atau bahan tambahan fluorida ditakrifkan sebagai bahan kimia yang ditambahkan pada proses ke-enam selepas proses pengklorinan sebagai langkah untuk mengelakkan kerosakan gigi, melindungi enamel gigi dan mengelakkan kerapuhan tulang. Bahan fluorida merupakan sebatian ion yang diterbitkan dari unsur fluorin yang merupakan komponen yang paling reaktif. Dianggarkan 95% bahan fluorida yang ditambahkan ke dalam air terawat untuk agihan awam adalah berasal daripada batu fosforit (Mullenix 2014). Sebanyak 1 mg/L atau kurang daripada 1 mg/L bahan fluorida ini ditambahkan ke dalamnya. Kandungan ion fluorida semula jadi dalam air permukaan bergantung kepada kawasan punca air tersebut dan lazimnya dalam lingkungan 0.3 ppm (Main 2015).

Bahan fluorida terbahagi kepada dua kategori iaitu bahan fluorida organik dan tidak organik. Terdapat pelbagai bahan fluorida topikal yang digunakan dalam bidang pergigian seperti natrium fluorida, natrium monofluorofosfat, fluorida stanus dan asid fluorida fosfat. Bahan fluorida tersebut adalah tidak organik secara semula jadi dan boleh didapati dalam bentuk cecair, gel, buih dan varnis (Sh et al. 2013). Terdapat tiga bahan fluorida yang digunakan secara lazimnya dalam sistem rawatan air iaitu asid fluorosilik, natrium silikofluorida dan natrium fluorida. Keputusan untuk menggunakan bahan fluorida yang dinyatakan dalam sistem air dibuat berdasarkan faktor seperti kos bahan kimia, keperluan pengendalian bahan, ketersediaan ruang dan peralatan.

CIRI-CIRI DAN MORFOLOGI

Jenis, fisiko-kimia dan morfologi sesuatu bahan kimia adalah sangat penting. Bagi bahan kimia yang organik dan tidak organik, struktur intrinsiknya adalah ditentukan melalui saiz molekul, komposisi, saiz partikel dan morfologi. Ciri-ciri fisiko-kimia pula ditentukan untuk mengurangkan bahaya toksik dan mengetahui sifat fizikal bahan kimia tersebut. Faktor seperti keterlarutan bahan, keselamatan operator, cara pengendalian, penyimpanan, keperluan suapan dan kos dititikberatkan semasa pemilihan bahan kimia bagi proses rawatan air.

Natrium fluorida merupakan bahan kimia yang berwarna putih dan boleh didapati dalam dua gred yang berlainan, iaitu gred butir kristal yang kasar dan dalam bentuk serbuk. Berat molekul natrium fluorida adalah 42.0 g/mol, suhu takat didih adalah 1695 °C dan takat lebur pada 995 °C. Kadar keterlarutan yang berterusan bagi natrium fluorida menyebabkan bahan tersebut menjadi sumber fluorida yang ideal untuk rawatan air di kawasan perbandaran. Keterlarutan bahan fluorida adalah tinggi dalam sistem suapan fluorida bagi proses rawatan air. Natrium fluorida ialah bahan kimia yang beracun dan habuk daripada natrium fluorida boleh menyebabkan kerengsaan pada bahagian hidung dan tekak. Bagi mengendalikan natrium fluorida, langkah-langkah keselamatan perlu diambil dengan memakai sarung tangan dan juga alat pernafasan (Solvay America Inc. 2005).

Natrium silikofluorida ialah bahan kimia berwarna putih dalam bentuk kristal atau serbuk. Bahan kimia ini tidak mempunyai bau, rasa dan mempunyai keupayaan untuk menyerap kelembapan. Natrium silikofluorida adalah bahan mudah larut di dalam alkohol. Keterlarutannya dalam asid juga adalah lebih tinggi jika dibandingkan keterlarutannya di dalam air. Natrium silikofluorida juga diuraikan di dalam larutan alkali untuk menghasilkan natrium fluorida dan silika. Pada suhu 25 °C, natrium silikofluorida mempunyai keterlarutan sebanyak 0.78% di dalam air. Natrium silikofluorida boleh digunakan sebagai racun serangga dalam pertanian, bahan pengawet kayu dan dalam industri peleburan berilium dan aluminium. Bahan ini bersifat toksik dan boleh memberi rangsangan negatif pada organ pernafasan. Jika berlaku pengambilan secara oral pada dos sekitar 0.4 hingga 4 g, ia akan merangsang bahagian usus lalu menyebabkan keracunan. Semasa pengendalian bahan kimia ini, operator perlu memakai peranti pelindung yang sesuai untuk mengelakkan keracunan (Database 2017).

Selain itu, asid fluorosilisik telah digunakan secara meluas dalam pemfluoridaan air dan merupakan bahan

fluorida yang kerap digunakan dalam sistem rawatan air di Amerika Syarikat. Kebanyakan bahan fluorida yang digunakan di Amerika Syarikat berasal daripada batu fosforit. Batu fosforit mengandungi kalsium fosfat yang dicampurkan dengan kalsium karbonat dan apatit. Apatit merupakan mineral dengan kandungan fosfat dan ion fluorida yang tinggi. Apatit dipanaskan melalui proses refluks dengan asid sulfurik untuk menghasilkan asid fosforik dan asid gipsum. Gas fosforik dan fluorida yang dihasilkan daripada proses tersebut akan diasingkan dan seterusnya digunakan untuk menghasilkan asid fluorosilisik (Centre for Disease Control and Prevention 2020). Selain itu, asid fluorosilisik juga digunakan sebagai bahan pembersih serta digunakan untuk melaraskan pH di dalam industri tekstil. Ciri-ciri bahan ini adalah larutannya jernih dan ia mempunyai bau yang agak kuat. Kebiasaannya, dalam industri, kepekatan asid tersebut adalah sekitar 23-25% manakala 40% di dalam air (Solvay America Inc. 2005). Sifat fizikal asid fluorosilisik pada kepekatan yang berlainan diringkaskan seperti dalam Jadual 1. Pengambilan asid fluorosilisik secara oral berkepekatan tinggi boleh menyebabkan keadaan loya, muntah dan hilang selera makan. Selain itu, pendedahan kepada asid fluorosilisik pada masa yang agak panjang akan menyebabkan sakit perut, tubuh badan menjadi lemah, sakit serta fluorosis. Jadual 2 pula menunjukkan morfologi dan sifat fiziko-kimia ketiga-tiga bahan fluorida yang biasa digunakan dalam proses rawatan air.

PEMFLUORIDAAN AIR

KAEDAH PEMFLUORIDAAN DALAM INDUSTRI AIR

Pemfluoridaan air boleh dilakukan melalui tiga cara iaitu pemfluoridaan secara semula jadi dalam air mentah, pencampuran dua sumber air dan penambahan ion fluorida di dalam air. Ion fluorida ditambahkan ke dalam air melalui pelarut kimia atau penyuiap kering yang menggunakan pam berkuasa rendah untuk mencampurkannya di dalam sistem rawatan air. Suapan fluorida perlu beroperasi dalam keadaan yang sangat tepat dan jitu. Kegunaan suapan pelarut adalah untuk mengalirkan cecair fluorida dalam kuantiti yang tertentu. Ini boleh dilakukan dengan menggunakan pam diafragma gentian positif, pam peristaltik dan pam elektronik. Penyuiap kering mengukur kuantiti bahan kimia kering yang dimasukkan ke dalam tangki pencampuran dan bahan tersebut akan menjadi larutan apabila dikacau menggunakan pengaduk. Di dalam penyuiap larutan pula, bahan kimia perlu dipastikan larut sepenuhnya untuk mengelakkan bahan kimia yang tidak

terlarut tersebut menyumbat arus suapan dan seterusnya untuk mengelakkan dos yang tidak menentu diperolehi

daripada proses pemfluoridaan. Selain itu, keadaan vakum pula diperlukan di antara tangki fluorida dan injap salur masuk sebagai pencegah aliran balik (Copeland 2016).

JADUAL 1. Sifat fizikal asid fluorosilik pada kepekatan yang berlainan

	40% Asid fluorosilik	23-25% Asid fluorosilik
Takat beku	30 °C	-19 °C
Takat didih	108.5 °C	105 °C
Ketumpatan relatif	1.32 (20 °C)	1.23 (15.6 °C)
pH	1 (100 g/L)	1(100 g/L)
Takat kilat	Tidak mudah terbakar	Tidak mudah terbakar
Suhu penguraian berlaku	108 °C	105 °C

Sumber: (Solvay America Inc. 2005)

JADUAL 2. Morfologi dan sifat fisiko-kimia bahan fluorida

	Natrium silikofluorida	Natrium fluorida	Asid fluorosilik
Bentuk	Serbuk	Serbuk atau kristal	Larutan
Berat molekul , g	188.1	42.0	144.1
Ketulenanan, %	98.99	95.98	22.30
Kandungan ion fluorida, %	60.7	45.3	79.2
Ketumpatan, kg/m ³	890.95	1055.62	168.19
Keterlarutan di dalam air, %	0.76	4.05	100
pH larutan yang tepu	3.5	7.6	1.2

Unit penepu merupakan unit tempat larutan yang tepu boleh terhasil jika air mengalir masuk ke ruang yang mengandungi natrium fluorida. Natrium fluorida mempunyai keterlarutan yang malar dan menghasilkan larutan fluorida yang seragam. Ion fluorida akan menjadi stabil pada keterlarutan 4% pada suhu bilik (25 °C). Unit penepu yang digunakan perlu mempunyai kedalaman antara 6 hingga 10 inci supaya larutan tersebut boleh diaduk setiap hari dan mengelakkan pembentukan pepejal di dasar penepu. Terdapat dua jenis penepu iaitu penepu arus bawah dan penepu arus atas. Lapisan natrium fluorida yang tidak terlarut yang terbentuk di dasar tangki akan dipaksa mengalir ke

atas dengan menggunakan tekanan yang memerlukan gelombang sifon (Copeland 2016; Lauer & Rubel 2004). Peralatan tambahan seperti skala, tangki pencampur, tangki asid, corong (*hoppers*) dan pemuat beg digunakan dalam proses pemfluoridaan air. Bahan fluorida kering seperti natrium fluorida dan natrium silikofluorida perlu disimpan di dalam beg yang kemudiannya disimpan berdekatan dengan tempat suapan untuk mengurangkan pelepasan habuk ke kawasan sekitar ketika aktiviti penyuaipan fluorida dijalankan. Bagi penyimpanan dan pengendalian asid fluorosilik pula, bekas simpanan perlu ditutup dengan rapat supaya bahan kimia tersebut tidak terlepas keluar secara pemeruapan.

KEBAIKAN DAN KEBURUKAN PEMFLUORIDAAN AIR

Rawatan pergigian merupakan satu daripada rawatan yang paling mahal di dunia dan menjadi beban kepada sistem kesihatan sesebuah negara. Pengurangan karies gigi di negara membangun sejak empat dekad yang lalu adalah disebabkan oleh pengenalan kepada bahan fluorida di dalam ubat gigi, garam dan air. Di New Zealand, kajian menunjukkan kadar karies gigi adalah tinggi dalam golongan kumpulan Maori. Sebanyak 10% golongan dewasa Maori telah menghidapi karies gigi manakala sebanyak 80% gigi kekal golongan kanak-kanak terjejas. Kementerian Kesihatan di New Zealand telah mengesyorkan penambahbaikan kandungan ion fluorida di dalam air dilakukan dalam lingkungan 0.7 hingga 1.0 ppm. Penambahbaikan kandungan ion fluorida di dalam air menunjukkan hasil yang positif tetapi pelbagai penambahbaikan perlu dilakukan dari segi masa pendedahan bahan fluorida dalam air dan langkah berjaga-jaga untuk mengelakkan karies gigi (Moore et al. 2017). Hal yang sama juga dilaporkan di Malaysia apabila dua kumpulan kanak-kanak yang berumur 9 dan 12 tahun di kawasan penempatan yang menerima air berfluorida didapati mempunyai pengalaman karies gigi yang jauh lebih sedikit berbanding kanak-kanak dengan kedua-dua kumpulan umur yang sama daripada kawasan yang tidak menerima air berfluorida (Mohd Nor et al. 2018). Pemfluoridaan air mempunyai banyak manfaat dalam pertumbuhan gigi tetapi terdapat kajian yang menunjukkan bahawa jika diambil secara berlebihan akan menyebabkan fluorosis. Sumber fluorida digunakan juga bersifat toksik dan boleh menyebabkan kematian. Fluorida perlu diambil dalam kuantiti tetap yang disyorkan dan bukannya dalam anggaran kuantiti yang disyorkan. Kuantiti tetap yang perlu diambil oleh bayi adalah 0.7 mg seharian, 3 mg setiap hari untuk golongan perempuan yang dewasa dan 4 mg untuk golongan lelaki dewasa (Aoun et al. 2018).

Pemfluoridaan air yang diperkenalkan di Amerika Syarikat dan Kanada pada tahun 1945 dan 1946 telah menampakkan trend penurunan kadar penyakit karies gigi sekitar 50%. Kajian telah dilakukan pada tahun 1990 dan 2010 di sepuluh buah negara terhadap golongan yang berusia dalam lingkungan 3 hingga 44 tahun. Laporan itu menunjukkan bahawa pengurangan karies gigi berlaku antara 30 hingga 50% (Freeze & Lehr 2008). Namun begitu, terdapat populasi di negara membangun yang mengalami fluorosis akibat pengambilan fluorida yang berlebihan dalam air minuman dan produk pergigian yang lain. Tindakan untuk mengurangkan kepekatan kandungan fluorida dalam air minuman di Malaysia telah dilakukan daripada 0.8-1.0 ppm kepada 0.4-0.6 ppm

bagi mengurangkan risiko pengedosan yang berlebihan (Ullah & Zafar 2015). Menurut kajian yang dijalankan sejak tahun 2015 terhadap kanak-kanak Malaysia yang menerima air berfluorida pada kepekatan 0.7 ppm dan kemudiannya dikurangkan kepada 0.5 ppm selepas 2 tahun, didapati bahawa pengurangan kepekatan fluorida sebanyak 0.2 ppm di dalam air yang diterima oleh mereka telah berjaya mengurangkan fluorosis dan pada masa sama masih boleh mencegah daripada berlakunya pembentukan karies (Mohd Nor et al. 2018). Namun begitu, pengurangan kepada kelaziman berlakunya fluorosis pada kepekatan fluorida 0.5 ppm di dalam air tidaklah begitu jelas perbezaannya jika diukur secara statistik. Kajian yang serupa juga telah dijalankan lebih awal ke atas pelajar sekolah di kawasan yang menerima air berfluorida di Malaysia (Tan et al. 2005). Kajian menunjukkan bahawa fluorosis gigi yang dicerap daripada pelajar yang tinggal di kawasan penempatan berfluoridasi adalah agak lebih sedikit daripada tahap pendedahan optimum yang sepatutnya. Perkara ini perlu diambil perhatian kerana sekiranya fluorosis tidak dipantau dengan baik, ia akan mengakibatkan gangguan kepada kesihatan awam. Atas sebab-sebab ini, kadar kepekatan fluorida di Malaysia telah dikurangkan kepada 0.4-0.6 ppm sahaja sehingga kini. Setakat ini, pematuhan kepada program jaminan kualiti (QAP) bagi air terawat daripada loji-loji rawatan air telah digariskan oleh Suruhanjaya Perkhidmatan Air Negara (SPAN) hanya meletakkan 5 parameter air utama untuk diukur dan dilaporkan iaitu aluminium, baki klorin, *E. coli*, gabungan baki klorin & *E. coli*, serta kekeruhan (SPAN 2018). Namun, pematuhan kepada parameter fluorida masih lagi di bawah Bahagian Pergigian, Kementerian Kesihatan Malaysia (Oral Health Division Ministry of Health 2006).

PEMANTAUAN KANDUNGAN FLUORIDA

Dalam sistem pengagihan air, pemantauan berterusan bagi setiap unit proses pemfluoridaan serta kawalan kepekatan fluorida dalam nilai yang disarankan adalah perlu dan sukar dicapai kerana ciri kimia fluorida itu sendiri. Fluorida sangat reaktif dan bahan tersebut akan bertindak balas terhadap unsur tidak organik seperti mineral dan logam berat yang terdapat di dalam air. Ini akan menyebabkan variasi dalam bacaan kepekatan fluorida di sepanjang sistem pengagihan air.

Ion fluorida bebas dapat bertindak balas dengan unsur tidak organik yang terdapat di dalam air untuk membentuk fluoro kompleks. Fluorida, sebagai ligan kuat di dalam air, dapat membentuk kompleks dengan kation

polivalen, seperti Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} dan Ca^{2+} bergantung pada pH air serta unsur surih yang terdapat di dalam air, seperti boron, berilium, silika, uranium, vanadium dan unsur nadir bumi (Preedy 2015). Tindak balas ion fluorida bebas dan ion silikofluorida dengan unsur tidak organik boleh menyebabkan pemendakan dan menyumbang kepada penyelupatan yang biasanya berlaku pada tangki larutan atau tangki masukan di loji rawatan air. Tindak balas pemendakan ini boleh menghasilkan bahan tidak

terlarut (Maier 1952) seperti ditunjukkan di dalam Jadual 3. Selain itu, kehadiran bendasing di dalam bahan fluorida juga boleh menyumbang kepada pembentukan bahan tidak larut lain. Ini kerana penghasilan bahan fluorida melibatkan batu fosfat adakalanya mempunyai pelbagai bahan radioaktif dan logam pada tahap berbeza, bergantung kepada asal usulnya serta ia boleh menjadi sumber pencemaran kepada bekalan air (Mullenix 2014).

JADUAL 3. Pembentukan fluoro kompleks dengan kehadiran ion fluorida di dalam air

Persamaan tindak balas bahan inorganik dengan ion fluorida	
$Al^{3+} + 3F^{-} \leftrightarrow AlF_3$	(1)
$Ca^{2+} + 2F^{-} \leftrightarrow CaF_2$	(2)
$Ca^{2+} + SiF_6^{2-} \leftrightarrow CaSiF_6$	(3)
$Mg^{2+} + 2F^{-} \leftrightarrow MgF_2$	(4)
$Mg^{2+} + SiF_6^{2-} \leftrightarrow MgSiF_6$	(5)

Kajian lepas telah melaporkan kehadiran pelbagai mineral dan logam berat di dalam air paip dalam sistem agihan air di Malaysia iaitu natrium, magnesium, kalium, kalsium, kromium, mangan, ferum, nikel, kuprum, zink, arsenik, kadmium dan plumbum manakala unsur bukan logam adalah fluorida, klorida, nitrat dan sulfat (Azrina et al. 2012; Hock-Eng et al. 2011). Ion fluorida membentuk kompleks dengan Al^{3+} secara aktif (Lepo & Snyder 2000). Oleh itu, kehadiran Al^{3+} di dalam air yang dirawat sama ada disebabkan oleh penambahan aditif kimia seperti aluminium sulfat sebagai penggumpal dalam proses rawatan air atau Al^{3+} yang terdapat secara semula jadi boleh mengakibatkan pembentukan fluoroaluminium kompleks. Kajian lepas juga melaporkan mengenai pembentukan mendakan logam kerana terdapat kehadiran kalsium dan magnesium di dalam air (Maier 1952).

Kehadiran mineral dan logam serta kandungan bendasing di dalam bahan fluorida dan sumber air mempengaruhi keterlarutan bahan tersebut semasa proses pengedosan fluorida di loji rawatan air. Selain itu, kehadiran bahan tersebut juga mempengaruhi kepekatan fluorida di dalam sistem agihan air yang menyebabkan berlakunya variasi di dalam kepekatan kandungan fluorida di dalamnya. Kajian terdahulu telah menjelaskan bahawa proses pemfluoridaan air di loji rawatan air dipengaruhi

oleh sumber air dan tahap kecekapan pengendali proses tersebut (Kuthy et al. 1985). Kompetensi pengendali di dalam proses pemberian dos sebatian fluorida ke dalam penyuaip fluorida adalah penting kerana prosedur tersebut memerlukan pengetahuan teknikal yang diperolehi daripada latihan yang betul dan ketersediaan manual yang komprehensif.

MASA DEPAN PEMFLUORIDAAN AIR

Pemfluoridaan air telah dijalankan di serata dunia sejak lebih dari 70 tahun. Pada ketika ini, sekitar 437.2 juta orang di dunia menerima air berfluorida sama ada secara semula jadi atau melalui penambahan bahan fluorida hasil daripada proses pemfluoridaan air. Namun begitu, ini hanya merangkumi 6% daripada jumlah keseluruhan populasi dunia dengan majoriti penduduk sekitar 370 juta orang yang mendapat air yang telah ditambah dengan fluorida. Ini selari dengan keputusan kajian terkini yang telah menunjukkan bahawa terdapat kira-kira 2.3 bilion orang dewasa yang menderita penyakit berkaitan kekurangan fluorida seperti karies gigi (James 2018). Jumlah bilangan pesakit yang mengalami penyakit berkaitan kekurangan fluorida yang tinggi ini adalah selari dengan kadar pemfluoridaan air yang rendah di

peringkat dunia. Hal ini boleh menjadi petunjuk betapa kritikalnya proses pemfluoridaan air ini diperlukan untuk ditambah di dalam setiap proses rawatan air. Cabaran utama di dalam pemfluoridaan air di Malaysia antaranya adalah kekurangan dana, penguatkuasaan yang lemah, penggunaan sistem rawatan air osmosis berbalik, kesukaran untuk menetapkan tahap optimum fluorida di dalam air, kekurangan data setempat tentang status pemfluoridaan dan impak daripadanya terhadap kesihatan gigi serta sejauh mana keberkesanan bagi setiap kos yang terlibat (Faizah et al. 2020). Oleh yang demikian, usaha ke arah meningkatkan pengagihan air berfluorida kepada pengguna hendaklah dilaksanakan secara terus-menerus walaupun ia menghadapi pelbagai cabaran.

Perkembangan teknologi dalam proses pemfluoridaan air melibatkan kajian bagi menghasilkan teknologi pemfluoridaan yang mensasarkan kepada sistem agihan air yang kecil terutamanya di kawasan pedalaman. Ini kerana kawasan pedalaman menghadapi kesukaran mendapatkan air yang berfluorida disebabkan isu kos yang tidak efektif untuk memasang sistem ini memandangkan komuniti di sini biasanya bersaiz kecil (Kohn et al. 2001). Dengan kewujudan pelbagai teknologi pemfluoridaan ini, ia seharusnya dapat membantu menaikkan jumlah penduduk yang menerima air berfluorida. Kajian melalui pembinaan loji pemfluoridaan berskala kecil telah dijalankan di kawasan pedalaman Australia (Ehsani & Bailie 2007) dan pengenalan teknologi ini adalah salah satu usaha bagi meningkatkan perolehan air berfluorida kepada kawasan pedalaman.

Baru-baru ini, Pusat Pencegahan dan Kawalan Penyakit Amerika telah membangunkan teknologi pemfluoridaan air melalui tablet fluorida berkos rendah seperti yang digunakan dalam proses pengklorinan air bagi kolam renang (Centre for Disease Control and Prevention 2020). Melalui alternatif ini, tablet fluorida berasaskan natrium silikofluorida dan sistem penyuaipan telah direka khas bagi aplikasi pada sistem pengedaran air bersaiz kecil dan sederhana yang berfungsi dengan kadar aliran 1 juta gelen sehari dan teknologi ini mampu memberi manfaat kepada lebih kurang 15,000 orang pengguna per unit proses.

Selain itu, teknologi pemantauan kandungan fluorida secara jarak jauh juga mampu memainkan peranan penting dalam mengatasi masalah ketidakseragaman bacaan kandungan fluorida di dalam sistem agihan air. Sistem pemantauan kandungan fluorida ini boleh diletakkan di sepanjang sistem agihan air pada titik-titik tertentu, terutamanya pada sistem agihan berjarak

jauh. Dengan adanya sistem ini, maklumat yang tepat mengenai kandungan fluorida di dalam sistem agihan air dapat dikesan bagi memberi manfaat dalam proses pengedaran bahan berfluorida di peringkat rawatan air dan seterusnya proses pengedaran tersebut boleh disemak semula bagi memastikan kandungan fluorida di dalam air terawat mematuhi keperluan yang telah ditetapkan oleh pihak berwajib.

KESIMPULAN

Pemfluoridaan adalah merupakan tahap terakhir dalam proses rawatan air dan proses tersebut adalah bersifat tambahan sahaja daripada sistem rawatan air yang ada. Melalui proses ini, bahan berfluorida boleh dimasukkan ke dalam air yang telah dirawat bagi membekalkan fluorida yang cukup kepada pengguna. Pemfluoridaan air komuniti telah dikaji secara menyeluruh di serata dunia dan telah terbukti sebagai cara yang selamat, praktikal dan bermanfaat dalam menangani masalah berkaitan penyakit gigi seperti karies dan fluorosis dan lain-lain penyakit yang boleh menjadi sekutunya. Mekanisma utama fluorida dalam mencegah karies gigi adalah dengan meningkatkan permineralan semula enamel. Dengan mencegah penyakit ini melalui pemfluoridaan air, ia dipercayai dapat menjimatkan kos rawatan pergigian seterusnya memberi manfaat dalam pengurangan kos sistem penjagaan kesihatan kerajaan.

PENGHARGAAN

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pengajian Tinggi (MOHE), Malaysia kerana memberikan sokongan kewangan untuk projek penyelidikan ini di bawah Skim Geran Penyelidikan Fundamental (FRGS/1/2018/TK02/UKM/02/2) dan Universiti Kebangsaan Malaysia kerana menyediakan projek penyelidikan di bawah Geran Universiti Penyelidikan (GUP/2021/027). Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada kakitangan di Syarikat Air Melaka Berhad: Datuk Ir. Mohd Khalid Nasir, Ir. Shahrwan Arman Shah, Puan Rahimah Abdullah, Encik Mohd. Hafiz Abd. Rahman dan Puan Ermy Zulaika Jasmani kerana turut sama menyumbang kepakaran di dalam menyiapkan penyelidikan ini.

RUJUKAN

Ackermann-Lieblich, U., Autrup, H., Bard, D., Calow, P., Dekant, W., Gard, A. & Linders, J. 2011. Critical review of any new evidence on the hazard profile, health effects, and human exposure to fluoride and the fluoridating agents of drinking water. European Commission.

- Adams, E.A., Boateng, G.O. & Amoyaw, J.A. 2016. Socioeconomic and demographic predictors of potable water and sanitation access in Ghana. *Social Indicators Research* 126(2): 673-687.
- Aini, M.S., Fakhrol-Razi, A., Mumtazah, O. & Meow Chen, J.C. 2007. Malaysian households' drinking water practices: A case study. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* 14(5): 503-510.
- Angreni, E. 2010. Review on optimization of conventional drinking water treatment plant. *World Applied Science Journal* 7(9): 304-310.
- Association of State and Territorial Dental Directors. 2016. *Natural Fluoride in Drinking Water*. <https://www.astdd.org/docs/natural-fluoride-fact-sheet-9-14-2016.pdf>.
- Aoun, A., Darwiche, F., Al Hayek, S. & Doumit, J. 2018. The fluoride debate: The pros and cons of fluoridation. *Prev. Nutr. Food Sci.* 23(3): 171-180.
- Azrina Azlan, Hock Eng Khoo, Mohd Aizat Idris, Amin Ismail & Muhammad Rizal Razman. 2012. Evaluation of minerals content of drinking water in Malaysia. *The Scientific World Journal* 2012: 403574.
- Bassin, E.B., Wypij, D., Davis, R.B. & Mittleman, M.A. 2006. Age-specific fluoride exposure in drinking water and osteosarcoma (United States). *Cancer Causes and Control* 17(4): 421-428.
- Boretti, A. & Rosa, L. 2019. Reassessing the projections of the World Water Development Report. *npj Clean Water* 2(1): 15.
- Centre for Disease Control and Prevention. 2020. *Water Fluoridation Additives*. <https://www.cdc.gov/fluoridation/engineering/wfadditives.htm>. Accessed on 26 March 2021.
- Copeland, A. 2016. *Water Fluoridation Principles and Practices*. 6th ed. Denver: American Water Works Association.
- Database., Chemical Book. 2017. *Sodium Fluorosilicate*.
- Department of Health and Human Services, U.S. 2015. Public health service recommendation for fluoride concentration in drinking water for the prevention of dental caries, Atlanta. National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion.
- EAWAG, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. 2008. Drinking water: The need for constant innovation. *Science Daily*. <https://www.sciencedaily.com/releases/2008/09/080912091736.htm>.
- Ehsani, J.P. & Bailie, R. 2007. Feasibility and costs of water fluoridation in remote Australian Aboriginal communities. *BMC Public Health* 7(1): 100.
- Faizah Abdul Karim, Zamros Yuzadi Mohd Yusof & Nor Azlida Mohd Nor. 2020. Water fluoridation and oral health in Malaysia: A review of literature. *Journal of Health and Translational Medicine* 23(2): 77-91.
- Faradiella Mohd Kusin, Mohd Syakirin Md Zahar, Siti Nurjaliah Muhammad, Nur Diyana Mohamad, Zafira Md Zin & Sharifah Mohd Sharif. 2016. Hybrid off-river augmentation system as an alternative raw water resource: the hydrogeochemistry of abandoned mining ponds. *Environmental Earth Sciences* 75(3): 230.
- Faridah Othman, Md Sadek Uddin Chowdhury, Wan Jaafar, W.Z., E.M. Mohammad Faresh & Shariff Moniruzzaman Shirazi. 2018. Assessing risk and sources of heavy metals in a tropical river basin: A case study of the Selangor River, Malaysia. *Polish Journal of Environmental Studies* 27(4): 1659-1671.
- Fawell, J., Bailey, K., Chilton, J., Dahi, E., Fewtrell, L. & Magara, Y. 2006. *Fluoride in Drinking Water*. London: IWA Publishing.
- Fordyce, F.M. 2019. Fluorine: Human Health Risks. In *Encyclopedia of Environmental Health*. Edinburgh: Elsevier.
- Freeze, R.A. & Lehr, J.H. 2008. *The Fluoride Wars: How a Modest Public Health Measure Became America's Longest-Running Political Melodrama*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Gotam Das, Vineet Tirth, Suraj Arora, Ali Algahtani, Mohammed Kafeel, Ayed Hassan G Alqarni, Priyanka Saluja, Hitesh Vij, Shashit Shetty Bavabeedu & Amit Tirth. 2020. Effect of fluoride concentration in drinking water on dental fluorosis in Southwest Saudi Arabia. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(11): 3914.
- Hock-Eng Khoo, Azrina Azlan, Mohd Aizat Idris & Muhammad Rizal Razman. 2011. Evaluation of selected metal elements in commercial drinking water and tap water in Peninsular Malaysia. *Jurnal Sains Kesihatan Malaysia* 9(1): 5-11.
- Huang Yuk Feng, Ang Shin Ying, Lee Khia Min & Lee Teang Shui. 2015. Quality of Water Resources in Malaysia, In *Research and Practices in Water Quality*. London: IntechOpen. DOI. 10.5772/58969.
- International River Foundation. 2021. Integrated river basin management. <https://riverfoundation.org.au/our-programs/integrated-river-basin-management/>. Accessed 19 December 2020.
- James, S.L. 2018. 354 Diseases and Injuries for 195 Countries and Territories, 1990-2017: A systematic analysis for the global burden of disease study 2017. *The Lancet* 392(10159): 1789-1858.
- Jones, T., Newborne, P. & Phillips, B. 2006. Applying the principles of integrated water resource and river basin management: An introduction. A Report to WWF-UK. Living Planet Report.
- Katsanou, K. & Karapanagioti, H.K. 2019. Surface water and groundwater sources for drinking water. In *Applications of Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Drinking Water Treatment*, edited by Gil, A., Galeano, L.A. & Vicente, M.Á. Cham: Springer International Publishing. pp. 1-19.
- Kohn, W., Presson, S. & Mass, W. 2001. Recommendations for using fluoride to prevent and control dental caries in the United States. Centers for Disease Control and Prevention. *MMWR Recomm Rep* 50(Rr-14): 1-42.
- Kuthy, R.A., Naleway, C. & Durkee, J. 1985. Factors associated with maintenance of proper water fluoride levels. *J. Am. Dent. Assoc.* 110(4): 511-513.

- Lamberg, M., Hausen, H. & Vartiainen, T. 1997. Symptoms experienced during periods of actual and supposed water fluoridation. *Community Dentistry and Oral Epidemiology* 25(4): 291-295.
- Lauer, B. & Rubel, F. 2004. *Water Fluoridation Principles and Practices*. 5th ed. Denver: American Water Works Association.
- Lepo, J.E. & Snyder, R.A. 2000. Impact of Fluoridation of the Municipal Drinking Water Supply: Review of the Literature, Florida: The Center for Environmental Diagnostics and Bioremediation. University of West Florida.
- Maier, F.J. 1952. Engineering problems in water fluoridation. *American Journal of Public Health and the Nations Health* 42(3): 249-254.
- Main, D. 2015. Facts about fluoridation. *Live Science*. <https://www.livescience.com/37123-fluoridation.html>.
- Malago, J., Makoba, E. & Muzuka, A.N.N. 2017. Fluoride levels in surface and groundwater in Africa: A review. *American Journal of Water Science and Engineering* 3(1): 1-17.
- Maswati S. Simelane, Mduduzi Shongwe, Colani, Kerry Vermaak & Eugene Zwane. 2020. Determinants of households' access to improved drinking water sources: A secondary analysis of Eswatini 2010 and 2014 multiple indicator cluster surveys. *Advances in Public Health* 2020: Article ID. 6758513.
- Ministry of Health Malaysia. 2004. *National Standard for Drinking Water Quality*. Accessed December 2000.
- Mohammadi, A.A., Yousefi, M., Yaseri, M., Jalilzadeh, M. & Mahvi, A.H. 2017. Skeletal fluorosis in relation to drinking water in rural areas of West Azerbaijan, Iran. *Scientific Reports* 7(17300): 1-7.
- Mohd Firdaus Abdullah & Arba'iyah Mohd Noor. 2018. Isu bekalan air domestik: Antara kejayaan dan kekalahan pada PRU14 di Negeri Kedah. *Jurnal Peradaban* 11: 115-150.
- Mohd Nor, N.A., Chadwick, B.L., Farnell, D.J.J. & Chestnutt, I.G. 2018. The impact of a reduction in fluoride concentration in the Malaysian water supply on the prevalence of fluorosis and dental caries. *Community Dent Oral Epidemiol* 46(5): 492-499.
- Moore, D., Poynton, M., Broadbent, J.M. & Thomson, W.M. 2017. The costs and benefits of water fluoridation in NZ. *BMC Oral Health* 17(1): 134.
- Mullenix, P.J. 2014. A new perspective on metals and other contaminants in fluoridation chemicals. *International Journal of Occupational and Environmental Health* 20(2): 157-166.
- O'Melia, C.R. 1998. Coagulation and sedimentation in lakes, reservoirs and water treatment plants. *Water Science and Technology* 37(2): 129-135.
- Obeta, M.C. & Nwankwo, C.F. 2015. Factors responsible for rural residential water supply shortage in southeastern Nigeria. *Journal of Environmental Geography* 8(3-4): 21-32.
- Ong, C., Ibrahim, S. & Sen Gupta, B. 2007. A survey of tap water quality in Kuala Lumpur. *Urban Water Journal* 4(1): 29-41.
- Oral Health Division Ministry of Health. 2006. *Implementation of Water Fluoridation Programme*.
- Peckham, S. & Awofeso, N. 2014. Water fluoridation: A critical review of the physiological effects of ingested fluoride as a public health intervention. *The Scientific World Journal* 2014: 293019.
- Penyata Rasmi Parlimen Dewan Rakyat. 2000. Parlimen Kesepuluh Penggal Kedua Mesyuarat Pertama. Cawangan Dokumentasi Parlimen Malaysia (Bil. 32).
- Piesse, M. 2020. Global water supply and demand trends point towards rising water insecurity. *Future Directions International (February)*: 1-8.
- Preedy, V.R. 2015. Fluorine: Chemistry, analysis, function and effects. Dlm *Food and Nutritional Components*. Edisi ke-6, disunting oleh Preedy. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Rawat, N. & Patel, V.K. 2018. Fluoride remediation from drinking water. In *Water Remediation. Energy, Environment, and Sustainability*, edited by Bhattacharya, S., Gupta, A., Gupta, A. & Pandey, A. Springer, Singapore.
- Rosiah Rohani, Izzati Izni Yusoff, Nadiah Khairul Zaman, Arshid Mahmood Ali, Nadiatul Atalia Balqis Rusli, Rida Tajau & Siti Aishah Basiron. 2021. Ammonia removal from raw water by using adsorptive membrane filtration process. *Separation and Purification Technology* 270: 118757.
- Sahu, O. & Chaudhari, P. 2013. Review on chemical treatment of industrial waste water. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* 17(2): 241-257.
- Schulz, C.R. & Okun, D.A. 1983. Treating surface waters for communities in developing countries. *Journal AWWA* 75(5): 212-219.
- Shaharuddin, M.S., Kamil, Y.M. & Ismail, Y.M. 2009. Fluoride concentration in Malaysian drinking water. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science* 6(4): 417-420.
- Sh, P., Raghu, R., Shetty, A., Gautham, P., Reddy, S. & Srinivasan, R. 2013. Effect of organic versus inorganic fluoride on enamel microhardness: An *in vitro* study. *J. Conserv. Dent.* 16(3): 203-207.
- Solvay America Inc. 2005. Product Safety Summary: Sodium fluoride. <https://www.solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/2021-01/PSS-Sodium-Bifluoride.pdf>.
- Suruhanjaya Perkhidmatan Air Negara (SPAN). 2018. *Laporan Tahunan* 2018.
- Tan, B.S., Razak, I.A. & Foo, L.C. 2005. Fluorosis prevalence among schoolchildren in a fluoridated community in Malaysia. *Community Dent. Health* 22(1): 35-39.
- Ullah, R. & Zafar, M.S. 2015. Oral and dental delivery of fluoride: A review. *Fluoride* 48(3): 195-204.
- United Nation. 2019. *Water, Sanitation and Hygiene*. Accessed 25 April 2021.
- World Health Organization. 2011. *Water Quality for Drinking: WHO Guidelines*.
- World Health Organization. 1994. *Fluorides and Oral Health*. vol. 13 SUPPL. Geneva.

- Yousefi, M., Yaseri, M., Nabizadeh, R., Hooshmand, E., Jalilzadeh, M., Mahvi, A.H. & Mohammadi, A.A. 2018. Association of hypertension, body mass index, and waist circumference with fluoride intake; water drinking in residents of fluoride endemic areas, Iran. *Biological Trace Elements Research* 185: 282-288.
- Zafira Madzin, Mohammad Fitri Shai-in & Faradiella Mohd Kusin. 2015. Comparing heavy metal mobility in active and abandoned mining sites in Bestari Jaya. *Procedia Environmental Science* 30: 232-237.
- Zaina Hussein Mseli, Goeller, D., Scharenberg, M., Mwegoha, W.J.S., Gianotti, R., Bongiorno, D. & Sawyer, A.H. 2019. Physical factors limiting access to clean groundwater in Tanzania villages. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development* 9(3): 531-539.

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: rosiah@ukm.edu.my