



TINJAUAN FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KUALITAS AIR PADA SISTEM RAIN WATER HARVESTING (RWH)

Prayudhy Yushananta^{1*}

¹Department of Environmental Health, Tanjungkarang Health Polytechnic

Artikel Info :

Received 6 Agustus 2020

Accepted 26 April 2021

Available online 30 April 2021

Editor: Imam Santosa

Keyword :

Rainwater Harvesting, quality, pollutants, treatment

Kata kunci :

Rainwater Harvesting, kualitas, polutan, pengolahan



Ruwa Jurai: Jurnal Kesehatan Lingkungan is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Abstract

The increase in population due to the birth rate has put pressure on meeting the water needs of the people. In 2050, the global demand for clean water is to meet the needs of 9.7 billion people. One of the strategies developed for sustainable water use is rainwater harvesting (RWH). From many reports, the RWH system can meet household water needs. However, it needs special attention from the quality aspect due to pollution. This paper presents the factors affecting water quality in the RWH system through three stages. The first stage is when rainfall clears pollutants in the air. In the second stage, the rain removes dirt and particles in the catchment area—the third, flushing dirt on pipes and storage tanks. Maintenance must be done to all parts of the RWH system periodically and must be treated and disinfection before being used as drinking water.

Meningkatnya populasi akibat angka kelahiran memberikan tekanan terhadap pemenuhan kebutuhan air bagi penduduk. Pada tahun 2050, secara global permintaan air bersih untuk memenuhi kebutuhan 9,7 miliar penduduk. Salah satu strategi yang dikembangkan untuk penggunaan air yang berkelanjutan adalah pemanfaatan air hujan (Rainwater Harvesting/RWH). Dari banyak laporan, sistem RWH mampu memenuhi kebutuhan air rumah tangga. Namun perlu perhatian khusus dari aspek kualitas akibat pencemaran. Tulisan ini menyajikan faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas air pada sistem RWH, melalui tiga tahapan. Tahap pertama adalah pada saat curah hujan membersihkan polutan di udara. Tahap kedua, pada saat curah hujan membersihkan kotoran dan partikel pada bidang tangkapan. Ketiga, pembilasan kotoran pada pipa dan tangki penyimpanan. Tindakan perawatan harus dilakukan pada seluruh bagian pada sistem RWH secara periodik, serta keharusan melakukan pengolahan dan desinfeksi sebelum digunakan sebagai air minum.

*Corresponding author: Prayudhy Yushananta

Jl. Soekarno-Hatta No 6, Bandar Lampung, Lampung, Indonesia

Email : prayudhyyushananta@gmail.com

PENDAHULUAN

Meningkatnya populasi berdampak pada peningkatan kebutuhan air bersih. Diperkirakan, permintaan air bersih akan meningkat secara drastis di seluruh dunia dari sekitar 3,3 miliar pada 2007, menjadi 6,4 hingga 9,7 miliar penduduk pada 2050 (Domènech and Saurí, 2011; UN, 2020). Di sisi lain, kualitas air permukaan semakin menurun akibat polusi dari industrialisasi dan limbah domestik. Akibatnya, terjadi eksploitasi air tanah secara besar-besaran (Ahmad and Danish, 2018; Tamaddun et al.,

2018). Dampaknya, terjadi pengurangan volume penyimpanan air tanah, penurunan muka tanah, penurunan aliran air permukaan, serta hilangnya mata air (Konikow and Kendy, 2005; Mays, 2013).

Pada kelompok lainnya, keterbatasan akses air bersih memaksa masyarakat memanfaatkan air yang tidak sehat untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari sehingga rentan terhadap penyakit pencernaan dan logam berat seperti *Cu*, *Pb*, *Cd*, *Zn*, dan *Hg* (Kristianto, 2017; Kuta et al., 2014; Oludairo and Aiyedun, 2016). Diperkirakan, lebih dari 2 juta anak balita meninggal berkaitan

dengan penggunaan air yang tidak sehat atau tercemar (Taiwo et al., 2020).

Pemenuhan kebutuhan air pada dasarnya merupakan upaya untuk menjalankan aktivitas sebagai manusia (Garcia Soler et al., 2018; Semaan et al., 2019). Tantangan pemenuhan air telah mempromosikan pencarian strategi baru sebagai upaya diversifikasi sumber daya alam untuk penggunaan air yang berkelanjutan, antara lain penggunaan kembali air limbah rumah tangga non-kakus (*greywater*), pemanfaatan limbah, *desalinasi* air laut dan penggunaan air hujan. Penggunaan hasil olahan *greywater* untuk sanitasi rumah tangga dan pertanian dapat menghemat air tawar hingga 48%. Di Cina, penghematan air tawar dengan mengoptimalkan daur ulang limbah kota untuk keperluan industri. Namun, penggunaan kembali *greywater*, limbah, dan *desalinasi* menuntut konsekuensi biaya investasi dan pemeliharaan yang sangat tinggi (Garcia Soler et al., 2018). *Desalinasi* juga berpotensi menimbulkan risiko lingkungan (Sánchez et al., 2015).

Pemanenan air hujan (*Rainwater Harvesting/ RWH*) menjadi solusi untuk menjawab tantangan kebutuhan air yang semakin meningkat, khususnya di perkotaan. Sistem *RWH* semakin populer karena kemampuannya untuk mengurangi tekanan kebutuhan air, selain dapat mengurangi efek *run-off* curah hujan (Gurung and Sharma, 2014; Helmreich and Horn, 2009; Jamali et al., 2020; Kisakye and Van der Bruggen, 2018; Morales-Pinzón et al., 2012; Naddeo et al., 2013; Semaan et al., 2019; Shittu, 2015; Vialle et al., 2015; Wurthmann, 2019). Saat ini, *RWH* telah menjadi bagian dari standar kota berkelanjutan, dan air hujan dianggap sebagai sumber daya yang berharga bukan lagi sebagai risiko (Garcia Soler et al., 2018).

RWH adalah teknologi untuk mengumpulkan air hujan dari bidang tangkapan, menyimpannya dalam *reservoir*, untuk digunakan kembali. Bidang tangkapan dapat berupa atap atau lapisan kedap air; dan *reservoir* mulai dari yang sederhana seperti pot dan tangki, hingga yang lebih kompleks seperti tangki bawah tanah (*ground tank*). Air hujan merupakan sumber air bersih terbarukan yang ideal untuk penggunaan rumah tangga (domestik), serta sebagai proses berkelanjutan yang dapat dikembangkan karena

biaya rendah dan perawatan yang mudah (Abdulla and Al-Shareef, 2009).

Kecukupan air hujan sebagai sumber air bersih telah dilaporkan pada banyak penelitian. Di Jordan, potensi penghematan air minum diperkirakan berkisar antara 0,27% hingga 19,7% (Abdulla and Al-Shareef, 2009). Di Bangladesh, sekitar 500-800m³ air dapat dihemat setiap tahun (Bashar et al., 2018). Di Malaysia, *RWH* memainkan peran sebagai sumber daya air alternatif (Lee et al., 2016). Laporan dari Irlandia menyebutkan bahwa integrasi *RWH* dan pengolahan *greywater* dapat memasok hampir 94% air domestik (Li et al., 2010). Sistem *RWH* diperkirakan dapat mengganti hingga 23% dari pasokan air minum di Ethiopia (Adugna et al., 2018), dan 80% dari kebutuhan air (Nnaji and Mama, 2014). García Soler et al. (2018) menyebutkan bahwa penggunaan air hujan dari atap dapat memenuhi lebih dari 60% kebutuhan air rumah tangga. Di Yordania, perkiraan potensi penghematan air dari sistem *RWH* berkisar antara 0,27% hingga 19,7%, di Brazil Tenggara dapat menghemat sekitar 41%, (Şahin and Manioğlu, 2019).

Penelitian lain di Palestina melaporkan bahwa *RWH* berkontribusi besar untuk meminimalkan kekurangan air (Mahmoud et al., 2018). Di Denmark, penggunaan dan pengelolaan air hujan yang terintegrasi dapat mengurangi permintaan air minum konvensional dan mengurangi beban pada instalasi pengolahan air sebesar 38-50% (Faragò et al., 2019). Total jumlah curah hujan dan air *runoff* yang dipanen dapat memenuhi 71% dari total kebutuhan air rumah tangga di Bangladesh (Rahaman, Jahan, & Mazumder, 2019). Teknologi *RWH* adalah pilihan pasokan air yang layak dan andal di daerah perkotaan dan pedesaan untuk keperluan rumah tangga (Shittu, 2015), dan merupakan sumber alternatif sistem pasokan air kota (Adugna et al., 2018). Sistem *RWH* dapat menghilangkan tekanan pada sumber daya air (Vialle et al., 2015).

Tantangan utama yang menjadi perhatian pada seluruh sistem *RWH* adalah kualitas air (Abdulla and Al-Shareef, 2009; Baguma et al., 2010; Kemenkes, 2017; Lee et al., 2012; Leong et al., 2017; Nalwanga et al., 2018; Zhu et al., 2019). Hasil pengujian kualitas air tangki pada sistem

RWH menunjukkan konsentrasi kimia yang dapat diterima, namun kualitas mikrobiologi menunjukkan adanya *Escherichia coli* (Garcia Soler et al., 2018). Demikian pula di Jordan, walaupun kandungan senyawa anorganik sesuai dengan standar WHO, namun kandungan *fecal coliform* melebihi batas untuk air minum (Abdulla and Al-Shareef, 2009; Nalwanga et al., 2018). Hasil yang sama juga dilaporkan dari China (Bae et al., 2019; Sánchez et al., 2015), dan Korea (Lee et al., 2012), dan kota lainnya (Hamilton et al., 2016; Lee et al., 2010; Mendez et al., 2011).

Tulisan ini menyajikan faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas air pada sistem *RWH*, melalui tiga tahapan. Tahap pertama adalah pada saat curah hujan membersihkan polutan di udara. Tahap kedua, pada saat curah hujan membersihkan kotoran dan partikel pada bidang tangkapan. Ketiga, pembilasan kotoran pada pipa dan tangki penyimpanan.

METODE

Sebanyak 70 artikel yang digunakan untuk penulisan, dipilih melalui *Google scholar* yang diakses pada bulan Juni-Juli 2020, sebagai sumber utama pencarian artikel yang berkaitan sistem pemanenan air hujan (*RWH*). Rangkaian kata kunci yang digunakan adalah "*rainwater harvesting*", "*pollution*", "*contaminants*", "*quality*", "*rooftop*", "*tanks*", "*pipe*", "*maintenance*". Sebanyak lima artikel ditambahkan ke dalam penulisan untuk melengkapi penjelasan teoritis dan sumber data.

Tahap awal, dilakukan penyaringan artikel dengan memperhatikan judul, kata kunci dan abstrak. Selanjutnya dilakukan penyaringan lengkap dengan mengikuti kriteria inklusi yang telah ditetapkan, yaitu :

1. Artikel harus diterbitkan pada jurnal internasional terindeks Scopus.
2. Artikel harus membahas sistem *RWH* sebagai sumber air bersih rumah tangga.
3. Artikel harus membahas faktor yang mencemari air dalam sistem *RWH*.

HASIL dan PEMBAHASAN

1. Kontaminasi dari polutan di udara

Polutan merupakan gas, debu atau partikel yang mengandung logam berat, *hidrokarbon*

aromatik polisiklik, *dioksin*, *furan*, *sulfat*, *nitrat*, dan lainnya (Sánchez et al., 2015). Jumlah polutan di udara bervariasi tergantung jumlah industri dan kepadatan lalu lintas, serta dipengaruhi oleh faktor-faktor meteorologis (kecepatan angin, suhu, kelembaban relatif), dan karakteristik partikel (ukuran dan bentuk) (Garcia-Montoya et al., 2015; Helmreich and Horn, 2009; Macomber, 2001; Zhu et al., 2004). Banyaknya polutan di lingkungan perkotaan bervariasi sesuai dengan intensitas lalu lintas jalan dan kedekatan dengan industri. Kehadiran polutan di atmosfer akan terbawa air hujan, dan selanjutnya menjadi sumber pencemar pada tangki air (Sánchez et al., 2015).

Selain mengalami perpindahan, polutan juga mengalami deposisi melalui mekanisme *fisikokimia*. Deposisi atmosfer adalah transfer polutan dari atmosfer ke ekosistem darat dan perairan (Amodio et al., 2014; Sánchez et al., 2015). Polutan mengalami deposisi kering (*dry deposition*) dan deposisi basah (*wet deposition*). Deposisi kering gas dan partikel dari atmosfer tidak dipengaruhi oleh presipitasi, terjadi karena adanya gerakan ke bawah dari lapisan atmosfer ke permukaan bumi. Deposisi kering sangat dipengaruhi oleh keadaan atmosferik, ukuran partikel, dan sifat absorpsi (Amodio et al., 2014; Helmreich and Horn, 2009; Lee et al., 2010; Leong et al., 2017; Mendez et al., 2011; Rahaman et al., 2019; Sánchez et al., 2015; Zhu et al., 2019).

Deposisi basah polutan dalam bentuk gas dan partikulat terjadi karena terlarut dalam air hujan, sering disebut sebagai pencucian atmosfer, melalui mekanisme *rainout* dan *washout*. *Rainout* terjadi bila partikulat menjadi inti awan dalam proses terjadinya hujan, sedangkan *washout* adalah pencucian polutan oleh air hujan, terjadi di bawah awan. Dengan adanya proses pencucian polutan, maka ditemukan senyawa kimia dalam air hujan. Air hujan menangkap polutan udara dan memindahkannya ke tanah, sehingga atmosfer menjadi lebih bersih setelah hujan (Helmreich and Horn, 2009; Lee et al., 2012; Rahaman et al., 2019; Sánchez et al., 2015; Zhu et al., 2019).

Pencucian udara terjadi dengan cepat, sehingga proses ini hampir tidak bergantung pada intensitas dan volume curah hujan.

Deposisi atmosfer memberikan kontribusi penting terhadap kontaminasi air hujan, biasanya *nitrogen*, padatan tersuspensi, *phosphor*, karbon organik terlarut, dan logam berat (Amodio et al., 2014; Sánchez et al., 2015).

Konsentrasi total *nitrogen* dalam curah hujan perkotaan biasanya berkisar antara 1,0 dan 2,0 mg/L (Sánchez et al., 2015). Dengan jumlah kandungan tersebut, maka alga dapat berkembang dalam tangki air hujan. *Nitrogen* organik dalam bentuk serbuk sari, spora, bakteri, dan zat lain juga dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap konsentrasi total *nitrogen* dalam pencucian curah hujan. Kehadiran *nitrat* dan *nitrogen oksida* berasal dari aktivitas *antropogenik* (Leong et al., 2017; Macomber, 2001; Shaheed et al., 2017; Zhu et al., 2019). *Amonium* dan *phosphor* dari sumber alami seperti kotoran burung dan lumut, juga ditemukan dalam air hujan bersama dengan *nitrogen*. Selain *phosphor* organik, konsentrasi *phosphor anorganik* juga terdapat dalam air hujan (dalam bentuk *phosphate*, PO_4^{3-}), sehingga alga dapat berkembang dalam tangki air hujan.

Curah hujan mengandung beberapa ion yang diambil dari atmosfer. Ion-ion berasal dari berbagai sumber polutan, baik alami (debu, aerosol garam laut) atau berasal dari aktivitas *antropogenik* (Lee et al., 2010; Macomber, 2001; Sánchez et al., 2015; Zhu et al., 2004). Sumber utama *klorida* (Cl^-) dalam air hujan adalah lautan. Kelebihan material dari tanah dapat meningkatkan konsentrasi ion *natrium* (Na^+) dan *kalium* (K^+), sedangkan *kalsium* (Ca^{2+}) dikaitkan dengan kandungan debu. Sebagian besar *sulfat* (SO_4^{2-}) dalam air hujan berasal dari laut, dan sebagian lagi dari tanah dan aktivitas manusia (Lee et al., 2010; Sánchez et al., 2015; Shaheed et al., 2017).

Aerosol garam laut mengandung garam anorganik dan bahan organik dari laut, terutama terdiri dari *natrium klorida* ($NaCl$) dan ion lain yang umum di air laut seperti K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} dan SO_4^{2-} . Hasil pemantauan kualitas air hujan di Yunani menyimpulkan bahwa parameter mikrobiologi dipengaruhi terutama oleh tingkat kebersihan daerah tangkapan air, sementara parameter kimia dipengaruhi oleh kedekatan laut dan aktivitas manusia (Sazakli et al., 2007). Penelitian lain melaporkan bahwa ion *klorida*,

natrium, dan *magnesium* berasal dari garam laut, ion *nitrat* dan *sulfat* yang dapat mengasamkan air hujan berasal dari lalu lintas, *ammonium* (NH_4^+), dan *hidrogen* (H^+) dari industri, ion *kalsium* dari debu tanah, *amonium* yang berasal dari gas *amonia* (NH_3) dari kegiatan pertanian, dan ion kalium dari pupuk atau pembakaran biomassa (Ozeki et al., 1995).

Aktivitas *antropogenik* sangat memengaruhi konsentrasi ion dalam curah hujan. Ion SO_4^{2-} dan NH_4^+ berkaitan dengan kegiatan pembakaran limbah menggunakan incinerator. Atmosfer di kawasan industri juga mengandung gas *HCl* yang tersapu oleh hujan, sehingga ditemukan dalam konsentrasi yang sangat tinggi dalam sampel curah hujan (Casado et al., 1996). Laporan Aikawa et al. (2014) menyebutkan bahwa daerah perkotaan berkontribusi terhadap 70% deposisi NO_3^- , dan 66% di pinggiran kota. *Washout* menyumbang 50% dari pengendapan SO_4^{2-} di pinggiran kota dan 80% di situs perkotaan.

Pengasaman hujan dapat berasal dari aktivitas *antropogenik*. Gas *nitrogen oksida* (NO_x) dan gas *sulfur oksida* (SO_2) dikeluarkan dari emisi cerobong pabrik dan kendaraan bermotor. Selanjutnya, reaksi fotokimia mengubah menjadi *asam nitrat* (HNO_3) dan *asam sulfat* (H_2SO_4). Turunnya pH air hujan menjadi 5,6 disebabkan oleh penambahan komponen asam oleh aktivitas manusia (Charlson and Rodhe, 1982). Pembentukan hujan asam juga tergantung pada *hidrogen peroksida* (H_2O_2), yang secara alami dapat dihasilkan oleh pencahayaan, bersama dengan *oksigen* dan *ozon*. *Hidrogen peroksida* bertindak sebagai *oksidan* dalam konversi *sulfur dioksida* terlarut (SO_2) menjadi *asam sulfat* (H_2SO_4) (Nawaz et al., 2012; Sánchez et al., 2015).

Logam berat merupakan salah satu beban pencemaran paling penting. Sifat *ecotoxic* logam berat dalam pengendapan basah jauh lebih besar dibandingkan pengendapan kering, karena kelarutan yang tinggi (Cizmecioglu and Muezzinoglu, 2008). Partikel logam seperti *Cd*, *Cu* dan *Zn* menunjukkan kelarutan yang lebih tinggi dibandingkan *Ni*, *Cr*, dan *Pb*, baik dalam pengendapan basah maupun kering (Morselli et al., 2003). Kelarutan unsur logam berat dipengaruhi oleh ukuran partikel (Gunawardena et al., 2013). Kandungan senyawa beracun

lainnya dalam curah hujan, seperti *perfluorinated*, *dioxin*, *senyawa karbonil* dan *asam trifluoroacetic*, *fluorotelomer karboksilat*, *perfluorinated (PFCs)*, *polychlorinated dibenzodioxins (PCDDs)*, *formaldehyde*, *acetaldehyde*, *hexanal*, *glyoxal*, dan *methylglyoxal*, *trifluoroacetic (TFA)*, juga lebih tinggi pada kawasan industri (Balla et al., 2014; Sánchez et al., 2015; Wang et al., 2014; Zushi and Masunaga, 2009).

2. Kontaminasi dari bidang tangkapan air hujan

Bidang tangkapan adalah bagian dari sistem *RWH* yang bertugas menangkap air hujan, dapat berupa atap atau lapisan kedap air lainnya. Air hujan dari bidang tangkapan selanjutnya dialirkan melalui pipa menuju tangki penyimpanan (*reservoir*). Mempertimbangkan pencucian atmosfer sebagai sumber kontaminasi, maka kualitas air hujan terbaik untuk daerah perkotaan adalah setelah pembersihan atap pertama (awal hujan), sehingga meminimalkan efek dari partikel yang terdapat di permukaan atap. Cara ini akan meningkatkan kualitas air hujan yang dipanen (Macomber, 2001; Sánchez et al., 2015). Penelitian Egodawatta et al. (2009) melaporkan bahwa konsentrasi partikel relatif tinggi pada awal turunnya hujan, dan hanya hanyut pada intensitas hujan yang tinggi. Sekitar 80% pengendapan partikel pada lapisan atap terjadi pada tujuh hari pertama tanpa hujan.

Mikroorganisme yang terbawa melalui udara dapat ditransfer ke air hujan melalui mekanisme pengendapan kering dan pengendapan basah. Walaupun permukaan bidang tangkapan merupakan sumber utama kontaminasi, namun air hujan yang jatuh ke atap sudah mengandung mikroorganisme patogen (Macomber, 2001; Sánchez et al., 2015). Penelitian di Singapura mendapatkan bahwa jumlah *Escherichia coli* dalam air hujan dari lokasi perkotaan dengan iklim tropis sebanyak 0–75 CFU/100 mL (Kaushik et al., 2014).

Mikroorganisme patogen yang ditularkan melalui air dapat hadir di atap perkotaan karena aktivitas biologis yang terkait dengan pengendapan kotoran yang tertiuap angin, tinja dari burung dan hewan lain, serangga, serasah,

lumut, jamur atau tumbuhan yang jatuh dari pohon di sekitarnya (Abdulla and Al-Shareef, 2009; Macomber, 2001; Nalwanga et al., 2018; Sánchez et al., 2015). Pengotoran atap yang paling parah terjadi ketika berada di bawah pohon tempat burung bertengger. Oleh karena itu, disarankan agar air yang mengalir dari atap pada hujan pertama dibuang untuk 5–10 menit pertama (Macomber, 2001). Beberapa peneliti lain juga telah melaporkan ditemukannya bakteri *Escherichia coli* pada air hujan (Abdulla and Al-Shareef, 2009; Bae et al., 2019; Garcia Soler et al., 2018; Hamilton et al., 2016; Lee et al., 2012, 2010; Mendez et al., 2011; Nalwanga et al., 2018; Sánchez et al., 2015).

Studi kasus di Karibia melaporkan bahwa wabah *salmonellosis* berkaitan dengan kotoran burung pada bidang tangkapan air hujan yang digunakan untuk air minum (Koplan et al., 1978). Laporan yang sama juga disampaikan dari Australia (Franklin et al., 2009). Sumber *E. coli* dalam tangki air hujan di Australia kemungkinan besar dari tinja burung dan possum (sejenis tupai). Bakteri lain yang ditemukan adalah *Campylobacter* yang dapat menyebabkan gangguan pencernaan (Ahmed et al., 2011).

Selain risiko biologis, juga terdapat sumber kontaminan anorganik untuk air hujan. Polutan logam seperti seng, tembaga dan timah berkaitan dengan korosi pada bahan atap. Korosi terjadi akibat air hujan yang bersifat asam sehingga dapat melarutkan logam dari bahan bidang tangkapan, pipa, dan tangki penyimpanan. Huston et al., (2012) melaporkan bahwa kontributor utama terhadap konsentrasi timbal dalam tangki air hujan perkotaan berasal dari cat berbasis timbal, pipa, bahan bangunan (galvanisasi, bahan atap, baja) yang bertanggung jawab atas 79% timbal dalam sampel air tangki.

Pestisida juga dapat ditemukan pada sistem *RWH*. Pestisida terutama berasal dari kegiatan pertanian, bahan atap, dan teknik yang digunakan dalam sistem *RWH* (Abdulla and Al-Shareef, 2009; Macomber, 2001; Mendez et al., 2011; Musayev et al., 2018; Sánchez et al., 2015; Zhu et al., 2004). Mekanisme disposisi basah akan terjadi pada penyemprotan pestisida dalam jumlah besar (Macomber, 2001). Penggunaan atap hijau mendapatkan konsentrasi beberapa

logam, termasuk senyawa *Arsenik* yang bersifat racun, serta pestisida (Mendez et al., 2011).

Bahan atap sebagai bidang tangkapan air hujan menjadi perhatian khusus. Beberapa penelitian melaporkan bahwa jenis bahan atap berkaitan dengan kualitas mikrobiologi air hujan yang baru dipanen. Total coliform berbeda secara signifikan dari berbagai bahan atap, menunjukkan bahwa pilihan bahan atap dapat membentuk struktur komunitas mikroorganisme yang memasuki tangki penyimpanan air hujan (Bae et al., 2019; Sánchez et al., 2015). Di Korea, baja galvanis ditemukan sebagai bahan yang paling cocok untuk aplikasi panen air hujan, karena dapat memenuhi standar kualitas air minum. Diduga, paparan sinar *ultraviolet* dan suhu tinggi secara efektif mendisinfeksi air hujan yang dipanen (Lee et al., 2012). Pada penggunaan atap hijau, ditemukan kandungan *Arsenik* dan pestisida, dipengaruhi oleh media tanam, pemupukan, dan pembasmian hama (Mendez et al., 2011).

Tekstur permukaan bahan juga ikut mempengaruhi kualitas air. Permukaan bahan bidang tangkapan dengan tekstur kasar dan berpori akan semakin meningkatkan jumlah polutan yang bersarang (Egodawatta et al., 2009). Penggunaan bahan atap yang halus akan meningkatkan kualitas dan kuantitas air (Abdulla and Al-Shareef, 2009). Bahan atap dari logam dan genteng beton cenderung memberi konsentrasi bakteri *fecal* yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan atap lainnya (Mendez et al., 2011). Sehingga, tidak direkomendasikan untuk mengonsumsi air hujan yang tidak diolah (Hamilton et al., 2017). Sistem panen air hujan harus dirancang dengan hati-hati untuk mengurangi kontribusi dari baja, pipa, pembusukan organik, kotoran burung, debu industri dan debu tepi jalan (Helmreich and Horn, 2009; Leong et al., 2017).

3. Kontaminasi selama penyimpanan

Penggunaan filter sebelum tangki penyimpanan dapat menahan bahan organik dan partikel besar seperti daun dan lumut, dan merupakan tahap pertama untuk meningkatkan kualitas air. Pembuangan air hujan awal bertujuan membuang semua kotoran atau polutan pada bidang tangkapan sehingga tidak

memasuki tangki penyimpanan. Konsentrasi partikulat tertinggi terdapat pada awal hujan, yaitu pada saat air hujan mencuci/membilas atap pertama (Baguma et al., 2010; Mendez et al., 2011; Sánchez et al., 2015; Zhu et al., 2004; Zushi and Masunaga, 2009). Volume *flush* pertama yang perlu dibuang bervariasi sesuai dengan intensitas curah hujan. Sekitar 75% dari partikel yang terdapat pada permukaan atap akan hilang pada intensitas hujan 20 mm/jam, dan hampir 100% hilang pada 115 mm/jam (Egodawatta et al., 2009; Sánchez et al., 2015). Oleh karena itu, disarankan untuk membuang air hujan yang mengalir dari atap sekitar 5–10 menit pertama (Macomber, 2001).

Selain intensitas curah hujan, juga harus mempertimbangkan periode musim kering sebelumnya. Semakin lama periode kering, maka semakin banyak polutan yang terdapat pada bidang tangkapan. Sekitar 80% pengendapan partikel pada lapisan atap terjadi pada tujuh hari pertama tanpa hujan (Egodawatta et al., 2009).

Komponen pada sistem *RWH* antara bidang tangkapan (atap) dan tangki penyimpanan adalah talang hujan dan pipa, yang terbuat dari bahan aluminium, tembaga, baja galvanis, *polyvinyl Chlorida (PVC)*. Secara keseluruhan, komponen-komponen tersebut dapat menjadi sumber kontaminan kimia dan biologi tambahan jika tidak dibersihkan (Baguma et al., 2010; Sánchez et al., 2015). Penelitian lain menyampaikan bahwa peningkatan kontaminasi air hujan setelah bidang tangkapan adalah pada pipa saluran yang tidak pernah dirawat dengan baik (Gurung and Sharma, 2014; Leong et al., 2017; Macomber, 2001; Thomas, 1998).

Beberapa studi telah menunjukkan perbedaan signifikan dalam parameter kimia dan mikrobiologi air hujan tergantung pada bahan tangki penyimpanan. Meskipun demikian, dengan pemeliharaan yang baik dan penggunaan cat kedap air tangki yang baik, dapat menghilangkan efek pada kualitas air hujan yang disimpan. Penelitian Hart and White (2006) menemukan bahwa pelarutan seng dari tangki logam bisa signifikan, tetapi tangki beton atau plastik tidak memiliki dampak yang penting. Laporan dari India menyatakan bahwa kualitas fisik dan kimia air hujan yang disimpan dalam tangki *fero semen* selama 4 bulan, sesuai

dengan persyaratan air minum, kecuali kontaminasi mikrobiologi (Varghese and Jaya, 2008). Konsentrasi logam lebih tinggi dalam air hujan yang disimpan dalam tangki logam; total padatan terlarut, *sulfat* dan *nitrat* lebih tinggi dalam tangki beton; dan kontaminasi mikrobiologi lebih tinggi dalam tangki plastik (Sánchez et al., 2015).

Kurangnya perawatan, desain yang buruk, dan sistem disinfeksi yang tidak memadai berkorelasi dengan kandungan bakteri dan merupakan ancaman utama terhadap kualitas air hujan selama tahap penyimpanan (Sánchez et al., 2015). Kondisi penyimpanan tertutup yang gelap dan menjamin suhu air hujan yang rendah, menunjukkan kualitas mikrobiologi yang lebih baik dibandingkan dengan penyimpanan terbuka dan terpapar cahaya. Meskipun paparan *ultraviolet* memiliki kemampuan disinfektan, namun sinar matahari juga dapat meningkatkan pertumbuhan alga (Reed, 1997). Selain itu, penutup dapat mencegah kontaminasi feses, hewan kecil dan serangga (Gurung and Sharma, 2014; Macomber, 2001). Jaring anti nyamuk, terutama di daerah tropis, dibutuhkan untuk mencegah tangki menjadi tempat perindukan nyamuk *Aedes aegypti* (Macomber, 2001; Sánchez et al., 2015).

Penyimpanan dalam tangki dapat menjadi sumber kontaminasi melalui pelarutan bahan dan kebersihan. Di sisi lain, penyimpanan air hujan juga dapat meningkatkan kualitas air hujan melalui proses sedimentasi. Partikel-partikel akan mengendap bersama dengan semua logam berat dan bakteri yang terikat pada partikel. Peningkatan pH juga dapat terjadi melalui pembuangan nutrisi dari aktivitas bakteriologi (Sánchez et al., 2015). Air hujan memiliki pH sekitar 5,6 (Charlson and Rodhe, 1982). Bunyaratpan dan Sinsupan (1983) dalam (Sánchez et al., 2015), melaporkan peningkatan pH air hujan dari 5,7 di atap menjadi 6,3-7,3 ketika disimpan dalam tangki mortar, menjadi 6,7 dalam tangki beton bertulang, menjadi 9,5-10,2 dalam tangki batu bata, dan menjadi 8,7 – 9,8 dalam tangki air hujan dari bahan semen.

Proses kualitas air yang paling penting pada penyimpanan adalah pengurangan padatan tersuspensi oleh *sedimentasi*. Hidrokarbon, logam berat dan *phosphor* dikaitkan dengan

partikel dan keberadaannya dapat dikurangi secara efektif pada masa penyimpanan melalui *sedimentasi*. *Sedimentasi* juga mengurangi kandungan bakteri dari air hujan yang disimpan, selain efek dari meningkatnya pH (Sánchez et al., 2015).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memperbaiki kualitas air hujan yang digunakan sebagai sumber air minum. Filtrasi pasir lambat dan teknologi disinfeksi surya adalah metode yang dapat digunakan untuk mengurangi polusi (Helmreich and Horn, 2009). Teknologi *Filtration Adsorption Disinfection (FAD)* dapat menghilangkan mikroorganisme patogen, kontaminan organik, dan mengurangi kekeruhan (Naddeo et al., 2013). Metode *slow sand filter (SSF)* memiliki kinerja yang baik dalam memurnikan air hujan yang dipanen dan murah. Hasil pengamatan selama 90 hari, penggunaan campuran batu kapur yang dihancurkan dan tanah liat merah memiliki daya adsorpsi yang lebih kuat daripada pasir kuarsa, dan mempersingkat waktu untuk pematangan *biofilm* (Zhao et al., 2019).

Pengalaman dari berbagai laporan penelitian menyimpulkan bahwa air hujan yang dipanen harus diolah sebelum digunakan untuk keperluan minum. Selain itu, *klorinasi* dalam tangki penyimpanan, pembersihan permukaan bidang tangkapan dan saluran secara berkala, harus dilakukan untuk meminimalkan akumulasi kotoran. Kepatuhan terhadap praktik-praktik ini merupakan faktor kunci untuk menghindari penurunan kualitas air hujan selama tahap penyimpanan, terutama kontaminasi mikroorganisme (Koplan et al., 1978; Nalwanga et al., 2018; Palla et al., 2017; Waso et al., 2018)

SIMPULAN

Meningkatkan populasi berdampak pada peningkatan permintaan air bersih. Sistem *RWH* menjadi pilihan bijak karena murah, mudah, dan jumlah yang mencukupi. Kualitas air dalam sistem *RWH* dipengaruhi oleh kontaminasi yang terjadi pada tiga tahap, yaitu pada saat curah hujan membersihkan polutan di udara, curah hujan membersihkan kotoran pada bidang tangkapan, serta pada saat pembilasan pipa dan tangki penyimpanan.

Polutan di udara dipengaruhi oleh jumlah industri dan kepadatan lalu lintas. Masuknya polutan ke dalam air hujan melalui mekanisme deposisi basah dan kering. Perpindahan polutan antar spasial dipengaruhi oleh faktor meteorologi dan ukuran partikel. Perpindahan dan deposisi berkaitan dengan peningkatan jumlah polutan yang terbilas oleh hujan. Karakteristik bahan dan perawatan kebersihan menjadi faktor utama terjadinya kontaminasi pada bidang tangkapan, pipa dan *reservoir*. Pada masa penyimpanan, kualitas air hujan yang dipanen dapat meningkat melalui proses sedimentasi, terutama pH dan padatan tersuspensi.

Sistem *RWH* yang dirancang dengan baik serta perawatan kebersihan yang baik, air hujan dapat digunakan dengan risiko kesehatan yang sangat rendah. Pengolahan umum untuk air hujan yang dipanen adalah filtrasi, sedimentasi, dan desinfeksi menggunakan *chlorine*, *ultraviolet*, atau *reverse osmosis*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulla, F.A., Al-Shareef, A.W., 2009. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination* 243, 195–207.
- A dugna, D., Jensen, M.B., Lemma, B., Gebrie, G.S., 2018. Assessing the potential for rooftop rainwater harvesting from large public institutions. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15.
- Ahmad, T., Danish, M., 2018. Prospects of banana waste utilization in wastewater treatment: A review. *Journal of Environmental Management* 206, 330–348.
- Ahmed, W., Gardner, T., Toze, S., 2011. Microbiological Quality of Roof-Harvested Rainwater and Health Risks: A Review. *Journal of Environmental Quality* 40, 13–21.
- Aikawa, M., Kajino, M., Hiraki, T., Mukai, H., 2014. The contribution of site to washout and rainout: Precipitation chemistry based on sample analysis from 0.5 mm precipitation increments and numerical simulation. *Atmospheric Environment* 95, 165–174.
- Amodio, M., Catino, S., Dambruoso, P.R., de Gennaro, G., Di Gilio, A., Giungato, P., Laiola, E., Marzocca, A., Mazzone, A., Sardaro, A., Tutino, M., 2014. Atmospheric Deposition: Sampling Procedures, Analytical Methods, and Main Recent Findings from the Scientific Literature. *Advances in Meteorology* 2014, 1–27.
- Bae, S., Maestre, J.P., Kinney, K.A., Kirisits, M.J., 2019. An examination of the microbial community and occurrence of potential human pathogens in rainwater harvested from different roofing materials. *Water Research* 159, 406–413.
- Baguma, D., Loiskandl, W., Darnhofer, I., Jung, H., Hauser, M., 2010. Knowledge of measures to safeguard harvested rainwater quality in rural domestic households. *Journal of Water and Health* 8, 334–345.
- Balla, D., Papageorgiou, A., Voutsas, D., 2014. Carbonyl compounds and dissolved organic carbon in rainwater of an urban atmosphere. *Environmental Science and Pollution Research* 21, 12062–12073.
- Bashar, M.Z.I., Karim, M.R., Imteaz, M.A., 2018. Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting: A comparative study within six major cities of Bangladesh. *Resources, Conservation and Recycling* 133, 146–154.
- Casado, H., Encinas, D., Lacaux, J.P., 1996. Relationship between the atmospheric particulate fraction and the ionic content of precipitation in an area under influence of a waste incinerator located in the Basque country (Spain). *Atmospheric Environment* 30, 1537–1542.
- Charlson, R.J., Rodhe, H., 1982. Factors controlling the acidity of natural rainwater. *Nature* 295, 683–685.
- Cizmecioglu, S.C., Muezzinoglu, A., 2008. Solubility of deposited airborne heavy metals. *Atmospheric Research* 89, 396–404.
- Domènech, L., Saurí, D., 2011. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): Social experience, drinking water savings and economic costs. *Journal of Cleaner Production* 19, 598–608.
- Egodawatta, P., Thomas, E., Goonetilleke, A., 2009. Understanding the physical processes of pollutant build-up and wash-off on roof surfaces. *Science of The Total Environment* 407, 1834–1841.
- Faragò, M., Brudler, S., Godskesen, B., Rygaard, M., 2019. An eco-efficiency evaluation of community-scale rainwater and stormwater harvesting in Aarhus, Denmark. *Journal of Cleaner Production* 219, 601–612.

- Franklin, L.J., Fielding, J.E., Gregory, J., Gullan, L., Lightfoot, D., Ponanski, S.Y., Vally, H., 2009. An outbreak of *Salmonella* Typhimurium 9 at a school camp linked to contamination of rainwater tanks. *Epidemiology and Infection* 137, 434–440.
- Garcia-Montoya, M., Bocanegra-Martínez, A., Nápoles-Rivera, F., Serna-González, M., Ponce-Ortega, J.M., El-Halwagi, M.M., 2015. Simultaneous design of water reusing and rainwater harvesting systems in a residential complex. *Computers and Chemical Engineering* 76, 104–116.
- Garcia Soler, N., Moss, T., Papasozomenou, O., 2018. Rain and the city: Pathways to mainstreaming rainwater harvesting in Berlin. *Geoforum* 89, 96–106.
- Gunawardena, J., Egodawatta, P., Ayoko, G.A., Goonetilleke, A., 2013. Atmospheric deposition as a source of heavy metals in urban stormwater. *Atmospheric Environment* 68, 235–242.
- Gurung, T.R., Sharma, A., 2014. Communal rainwater tank systems design and economics of scale. *Journal of Cleaner Production* 67, 26–36.
- Hamilton, K.A., Ahmed, W., Palmer, A., Sidhu, J.P.S., Hodggers, L., Toze, S., Haas, C.N., 2016. Public health implications of *Acanthamoeba* and multiple potential opportunistic pathogens in roof-harvested rainwater tanks. *Environmental Research* 150, 320–327.
- Hamilton, K.A., Ahmed, W., Toze, S., Haas, C.N., 2017. Human health risks for *Legionella* and *Mycobacterium avium* complex (MAC) from potable and non-potable uses of roof-harvested rainwater. *Water Research* 119, 288–303.
- Hart, C., White, D., 2006. Water quality and construction materials in rainwater catchments across Alaska. *Journal of Environmental Engineering and Science* 5, S19–S25.
- Helmreich, B., Horn, H., 2009. Opportunities in rainwater harvesting. *Desalination* 248, 118–124.
- Huston, R., Chan, Y.C., Chapman, H., Gardner, T., Shaw, G., 2012. Source apportionment of heavy metals and ionic contaminants in rainwater tanks in a subtropical urban area in Australia. *Water Research* 46, 1121–1132.
- Jamali, B., Bach, P.M., Deletic, A., 2020. Rainwater harvesting for urban flood management – An integrated modelling framework. *Water Research* 171, 115372.
- Kaushik, R., Balasubramanian, R., Dunstan, H., 2014. Microbial Quality and Phylogenetic Diversity of Fresh Rainwater and Tropical Freshwater Reservoir. *PLoS ONE* 9, e100737.
- Kemenkes, R.I., 2017. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum, Kemenkes RI.
- Kisakye, V., Van der Bruggen, B., 2018. Effects of climate change on water savings and water security from rainwater harvesting systems. *Resources, Conservation and Recycling* 138, 49–63.
- Konikow, L.F., Kendy, E., 2005. Groundwater depletion: A global problem. *Hydrogeology Journal* 13, 317–320.
- Koplan, J.P., Deen, R.D., Swanston, W.H., Tota, B., 1978. Contaminated roof-collected rainwater as a possible cause of an outbreak of salmonellosis. *Journal of Hygiene* 81, 303–309.
- Kristianto, H., 2017. The Potency of Indonesia Native Plants as Natural Coagulant: a Mini Review. *Water Conservation Science and Engineering* 2, 51–60.
- Kuta, G., Emigilati, M., Hassan, A., Ibrahim, I., 2014. Domestic water sources and its health implication in Lapai Local Government area, Niger State, Nigeria. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management* 7, 686.
- Lee, J.Y., Bak, G., Han, M., 2012. Quality of roof-harvested rainwater - Comparison of different roofing materials. *Environmental Pollution* 162, 422–429.
- Lee, J.Y., Yang, J.S., Han, M., Choi, J., 2010. Comparison of the microbiological and chemical characterization of harvested rainwater and reservoir water as alternative water resources. *Science of the Total Environment* 408, 896–905.
- Lee, K.E., Mokhtar, M., Mohd Hanafiah, M., Abdul Halim, A., Badusah, J., 2016. Rainwater harvesting as an alternative water resource in Malaysia: Potential, policies and development. *Journal of Cleaner Production* 126, 218–222.
- Leong, J.Y.C., Chong, M.N., Poh, P.E., Hermawan, A., Talei, A., 2017. Longitudinal assessment of rainwater quality under tropical climatic conditions in enabling effective rainwater harvesting and reuse schemes. *Journal of Cleaner Production* 143, 64–75.

- Li, Z., Boyle, F., Reynolds, A., 2010. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. *Desalination* 260, 1–8.
- Macomber, P.S.H., 2001. Guidelines on Rainwater Catchment Systems for Hawaii. Hawaii.
- Mahmoud, N., Hogland, W., Sokolov, M., Rud, V., Myazin, N., 2018. Assessment of rainwater harvesting for domestic water supply in palestinian rural areas. In: MATEC Web of Conferences.
- Mays, L.W., 2013. Groundwater Resources Sustainability: Past, Present, and Future. *Water Resources Management* 27, 4409–4424.
- Mendez, C.B., Klenzendorf, J.B., Afshar, B.R., Simmons, M.T., Barrett, M.E., Kinney, K.A., Kirisits, M.J., 2011. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. *Water Research* 45, 2049–2059.
- Morales-Pinzón, T., Lurueña, R., Rieradevall, J., Gasol, C.M., Gabarrell, X., 2012. Financial feasibility and environmental analysis of potential rainwater harvesting systems: A case study in Spain. *Resources, Conservation and Recycling* 69, 130–140.
- Morselli, L., Olivieri, P., Brusori, B., Passarini, F., 2003. Soluble and insoluble fractions of heavy metals in wet and dry atmospheric depositions in Bologna, Italy. *Environmental Pollution* 124, 457–469.
- Musayev, S., Burgess, E., Mellor, J., 2018. A global performance assessment of rainwater harvesting under climate change. *Resources, Conservation and Recycling* 132, 62–70.
- Naddeo, V., Scannapieco, D., Belgiorno, V., 2013. Enhanced drinking water supply through harvested rainwater treatment. *Journal of Hydrology* 498, 287–291.
- Nalwanga, R., Muyanja, C.K., McGuigan, K.G., Quilty, B., 2018. A study of the bacteriological quality of roof-harvested rainwater and an evaluation of SODIS as a suitable treatment technology in rural Sub-Saharan Africa. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6, 3648–3655.
- Nawaz, M., Han, M.Y., Kim, T. il, Manzoor, U., Amin, M.T., 2012. Silver disinfection of *Pseudomonas aeruginosa* and *E. coli* in rooftop harvested rainwater for potable purposes. *Science of the Total Environment* 431, 20–25.
- Nnaji, C.C., Mama, N.C., 2014. Preliminary Assessment of Rainwater Harvesting Potential in Nigeria: Focus on Flood Mitigation and Domestic Water Supply. *Water Resources Management* 28, 1907–1920.
- Olundairo, O., Aiyedun, J., 2016. Contamination of Commercially Packaged Sachet Water And The Public Health Implications: An Overview. *Bangladesh Journal of Veterinary Medicine* 13, 73–81.
- Ozeki, T., Koide, K., Kimoto, T., 1995. Evaluation of Sources of Acidity in Rainwater Using a Constrained Oblique Rotational Factor Analysis. *Environmental Science & Technology* 29, 1638–1645.
- Palla, A., Gnecco, I., La Barbera, P., 2017. The impact of domestic rainwater harvesting systems in storm water runoff mitigation at the urban block scale. *Journal of Environmental Management* 191, 297–305.
- Rahaman, M.F., Jahan, C.S., Mazumder, Q.H., 2019. Rainwater harvesting: Practiced potential for Integrated Water Resource Management in drought-prone Barind Tract, Bangladesh. *Groundwater for Sustainable Development* 9, 100267.
- Reed, R.H., 1997. Solar inactivation of faecal bacteria in water: the critical role of oxygen. *Letters in Applied Microbiology* 24, 276–280.
- Şahin, N.İ., Manioğlu, G., 2019. Water conservation through rainwater harvesting using different building forms in different climatic regions. *Sustainable Cities and Society* 44, 367–377.
- Sánchez, A.S., Cohim, E., Kalid, R.A., 2015. A review on physicochemical and microbiological contamination of roof-harvested rainwater in urban areas. *Sustainability of Water Quality and Ecology* 6, 119–137.
- Santos, S.M. dos, de Farias, M.M.M.W.E.C., 2017. Potential for rainwater harvesting in a dry climate: Assessments in a semiarid region in northeast Brazil. *Journal of Cleaner Production* 164, 1007–1015.
- Sazakli, E., Alexopoulos, A., Leotsinidis, M., 2007. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. *Water Research* 41, 2039–2047.
- Semaan, M., Day, S.D., Garvin, M., Ramakrishnan, N., Pearce, A., 2019. Optimal sizing of rainwater harvesting systems for domestic water usages: A systematic literature review. *Journal Pre-proof* 106192.
- Shaheed, R., Wan Mohtar, W.H.M., El-Shafie, A., 2017. Ensuring water security by utilizing roof-harvested rainwater and lake water treated with a low-cost integrated adsorption-filtration

- system. *Water Science and Engineering* 10, 115–124.
- Shittu, 2015. Development of rainwater harvesting technology for securing domestic water supply in Ibadan, Nigeria. *International Research Journal of Engineering Science, Technology and Innovation* 04, 32–37.
- Taiwo, A.S., Adenike, K., Aderonke, O., 2020. Efficacy of a natural coagulant protein from *Moringa oleifera* (Lam) seeds in treatment of Opa reservoir water, Ile-Ife, Nigeria. *Heliyon* 6, e03335.
- Tamaddun, K., Kalra, A., Ahmad, S., 2018. Potential of rooftop rainwater harvesting to meet outdoor water demand in arid regions. *Journal of Arid Land* 10, 68–83.
- Thomas, T., 1998. Domestic water supply using rainwater harvesting. *Building Research and Information* 26, 94–101.
- UN, 2020. *World Population Prospects 2019: Highlights | United Nations [WWW Document]*. United Nation. URL <https://www.un.org/en/desa/world-population-prospects-2019-highlights> (accessed 12.19.20).
- Varghese, J., Jaya, D.S., 2008. Drinking water quality assessment of rain water harvested in ferrocement tanks in Alappuzha District, Kerala (India). *Journal of environmental science & engineering* 50, 115–20.
- Vialle, C., Busset, G., Tanfin, L., Montrejaud-Vignoles, M., Huau, M.C., Sablayrolles, C., 2015. Environmental analysis of a domestic rainwater harvesting system: A case study in France. *Resources, Conservation and Recycling* 102, 178–184.
- Wang, Q., Wang, X., Ding, X., 2014. Rainwater trifluoroacetic acid (TFA) in Guangzhou, South China: Levels, wet deposition fluxes and source implication. *Science of The Total Environment* 468–469, 272–279.
- Waso, M., Khan, S., Khan, W., 2018. Microbial source tracking markers associated with domestic rainwater harvesting systems: Correlation to indicator organisms. *Environmental Research* 161, 446–455.
- Wurthmann, K., 2019. Assessing storage requirements, water and energy savings, and costs associated with a residential rainwater harvesting system deployed across two counties in Southeast Florida. *Journal of Environmental Management* 252, 109673.
- Zhao, Y., Wang, Xiuyan, Liu, C., Wang, S., Wang, Xihua, Hou, H., Wang, J., Li, H., 2019. Purification of harvested rainwater using slow sand filters with low-cost materials: Bacterial community structure and purifying effect. *Science of the Total Environment* 674, 344–354.
- Zhu, J. jun, Yu, L. zhong, Xu, T. le, Wei, X., Yang, K., 2019. Comparison of water quality in two catchments with different forest types in the headwater region of the Hun River, Northeast China. *Journal of Forestry Research* 30, 565–576.
- Zhu, K., Zhang, L., Hart, W., Liu, M., Chen, H., 2004. Quality issues in harvested rainwater in arid and semi-arid Loess Plateau of northern China. *Journal of Arid Environments* 57, 487–505.
- Zushi, Y., Masunaga, S., 2009. First-flush loads of perfluorinated compounds in stormwater runoff from Hayabuchi River basin, Japan served by separated sewerage system. *Chemosphere* 76, 833–840.