

Alternatif Disinfektan *Escherichia coli* Menggunakan Ekstrak Siwak (*Salvadora persica*) pada Airtanah

Alternative Disinfectant for Escherichia coli Using Miswak Extract (Salvadora persica) in Groundwater

Hari Kurniawan Risdianto*

*Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam
Indonesia

Email: risdianto.hk@gmail.com

Abstract

Waterborne diseases causes high enough of mortality, including in Indonesia. One reason is presence of E.Coli bacteria which is caused by low sanitation and lack access to safe water. Conventional drinking water treatment using chlorine compounds also raises the other problems because it has the potential to produce Disinfection by Products (DBPs) compounds that threaten health seriously. Therefore, alternative disinfectants need to be considered, for example miswak extract. This study aims to determine the ability of miswak extract, also the optimum dosage and contact time in removing E.Coli in water media. The method used is Plate Count Agar (PCA) with Chromocult Coliform Agar (CCA) as a growth medium. The results showed that miswak extracts and raffinates were able to set aside 4,3-log reduction and 0,951-log reduction respectively, with optimum doses of 10 ml miswak extracts at 10 minutes of contact time and 5 mg miswak raffinates at 5 minutes of contact time. The highest E.Coli mortality rate was 1,703/minutes for miswak extract and 1,400/minutes for miswak raffinate. Comparisons with other disinfectant such as chlorine compounds are also carried out.

Keywords: Disinfection, E.Coli, Miswak Extract, Salvadora persica

Abstrak

Penyakit dengan media perantara air (waterborne diseases) masih mengakibatkan kematian dalam jumlah yang cukup tinggi, termasuk di Indonesia. Salah satu penyebabnya adalah keberadaan bakteri E.Coli yang diakibatkan oleh rendahnya sanitasi dan sulitnya akses terhadap air bersih. Pengolahan air minum konvensional yang menggunakan senyawa klorin pun memunculkan masalah lain karena berpotensi menghasilkan senyawa Disinfection by Products (DBPs) yang mengancam kesehatan secara serius. Oleh karena itu, alternatif senyawa disinfektan perlu dipertimbangkan, misalnya ekstrak siwak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan ekstrak siwak serta dosis dan kontak optimum dalam menyingkahkan bakteri E.Coli pada media air. Metode yang digunakan adalah Plate Count Agar (PCA) dengan media pertumbuhan Chromocult Coliform Agar (CCA). Didapatkan hasil bahwa ekstrak dan residu siwak mampu menyingkahkan berturut-turut sebesar 4,3-log reduksi dan 0,951-log reduksi, dengan dosis optimum 10 ml ekstrak siwak di waktu kontak 10 menit dan 5 mg residu siwak pada waktu kontak 5 menit. Laju kematian E.Coli tertinggi adalah 1,703/menit untuk ekstrak siwak dan 1,400/menit untuk residu siwak. Dilakukan pula perbandingan dengan disinfektan lainnya seperti senyawa klorin.

Kata kunci: Disinfeksi, E.Coli, Ekstrak Siwak, Salvadora persica

1. PENDAHULUAN

Menurut *Global Burden of Diseases Dhiarrhoeal Diseases Collaborators* (2017), penyakit diare pada tahun 2015 menyebabkan sekitar 1,31 juta kematian di seluruh dunia dengan 499.000 kasus kematian diantaranya terjadi pada anak berusia dibawah 5 tahun. Termasuk di dalamnya sebanyak 30 kasus kematian di Indonesia (Kemenkes RI, 2017). Salah satu media utama dalam penyebaran penyakit diare adalah melalui air. Pengelolaan air yang baik dapat menurunkan 73 – 79% risiko penyakit diare (WHO, 2014). Upaya peningkatan akses air bersih, sanitasi yang baik, serta nutrisi bergizi, diketahui dapat menurunkan 20,8% kematian akibat diare pada tahun 2005 – 2015 (*GBD Dhiarrhoeal Diseases Collaborators*, 2017).

Klorin bebas dan/atau bromin bebas dalam proses disinfeksi dapat menghasilkan senyawa DBPs (*Disinfection by Products*), yaitu senyawa yang terbentuk akibat bereaksi dengan *Natural Organic Matter* (NOM). Pembentukan DBPs dipengaruhi keberadaannya oleh tipe dan konsentrasi NOM, bentuk klorin dan dosis, waktu kontak, konsentrasi ion bromida, pH, konsentrasi nitrogen organik, serta suhu. *Trihalometane* (THM) merupakan contoh dari senyawa DBPs. Senyawa ini bersifat karsinogenik khususnya pada konsentrasi bromida diantara 218 - 262 mg/L. Oleh karena itu, pengendalian DBPs saat proses disinfeksi harus dilakukan melalui upaya penggunaan disinfektan alternatif lainnya (Bitton, 2014; Hong et al, 2007; US EPA, 1999).

Senyawa kimia seperti chloramines, kalium permanganat, ozon, merupakan alternatif disinfektan kimia selain metode disinfeksi fisika melalui penyinaran ultraviolet ataupun melalui metode radiasi kobalt-60 (US EPA, 1999; Qasim, 1985). Alternatif disinfektan kimia juga dapat diperoleh dari bahan alam seperti tanaman siwak (*Salvadora persica*). Siwak yang sering diaplikasikan sebagai pembersih gigi dan mulut terbukti memiliki sifat anti bakteri dan jamur terhadap bakteri seperti *P.gingivalis*, *H.influenza*, *A.actinonycetecomitans*, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus sp*, *Streptococcus sp*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas earuginosa*, *E.coli*, *Salmonella thypimurium*, *Candida albicans* serta bakteri golongan gram negatif dan positif lainnya. Sifat tersebut disebabkan oleh kandungan minyak esensial berupa senyawa mudah menguap (*volatile compounds*), contohnya *Benzylisothiocyanate* (BITC), *Oxygenated monoterpene* seperti 1,8-Cineole, serta anion (Cl^- , SO_4^{2-}) (Abhary dan Al-Hazmi, 2016; Atef A, 2013; Alali et al, 2004; Al Qumber, 2014; Daga et al, 2017; Darout et al, 2000; Fatkhurrohman dan Medawati, 2013; Farag et al, 2017; Noumi et al, 2011; Sofrata et al, 2008; Wardani, 2012; Tektook, 2016).

Selain itu, siwak telah disyariatkan dalam ajaran Islam sebagai pembersih mulut dan gigi sebelum melaksanakan shalat yang menuntut kesucian serta kebersihan dari hadas kecil maupun besar dalam pertemuannya dengan Allah Subhanahu wa ta'ala, Sang Pencipta Alam Semesta. Ini sekaligus

merupakan isyarat bahwa siwak dapat digunakan dalam proses disinfeksi yaitu proses ‘membersihkan’ dari mikroorganisme patogenik. Adapun sabda Rasulullah Shallallahu ‘alaihi wa sallam sebagai berikut:

“*Seandainya aku tidak khawatir akan memberatkan kaum mukminin (tidak memberatkan umatku – dalam riwayat Zuhair), pasti aku telah memerintahkan mereka untuk bersiwak pada tiap kali shalat*” (HR. Abu Dawud (I/46), An-Nasaa’i (I, hal 12), dan Ibnu Majah (I/690)) (Imam An-Nawawi, 1994).

Berdasarkan informasi yang telah dikemukakan sebelumnya, aplikasi tanaman siwak (*Salvadora persica*) sebagai disinfektan dalam pengolahan air minum memiliki potensi yang cukup besar, terlebih dalam penelitian sebelumnya tidak ada yang mengaplikasikannya langsung terhadap media air. Potensi yang dimiliki tanaman siwak ini juga sekaligus dapat membuktikan bahwa syariat Islam adalah benar dan tidak dapat dipisahkan dari perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Lingkungan yang berada di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Parameter yang diuji adalah Total *Escherichia coli* dengan metode ISO 9308-1: 2014 tentang Enumeration of *Escherichia coli* and Coliform Bacteria terhadap air yang telah ditambahkan ekstrak dan residu siwak. Sedangkan pengambilan contoh air dilakukan dengan metode SNI 06-2412- 1991 tentang Metode Pengambilan Contoh Kualitas Air.

Sementara proses ekstraksi dimulai dengan menyediakan batang siwak dengan ukuran sekitar 20 cm yang dapat ditemukan di pasaran. Pembuatan ekstrak dilakukan sesuai dengan metode yang digunakan oleh Abhary and Al-Hazmi (2016). Batang siwak diiris hingga berukuran kecil untuk kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 55° C selama 72 jam. Siwak kering dihaluskan hingga ukuran <0,3 mm menggunakan *blender* dan ayakan ukuran 50 mesh. Ukuran <0,3 mm dipilih karena ukuran tersebut dapat mencakup keseluruhan batang siwak yang telah dihaluskan. Menurut Tan et al (2014), salah satu ukuran partikel optimal dalam ekstrak tanaman menggunakan air dengan prinsip *solvent extraction* adalah <1 mm, bahkan Makanjuola (2017) menggunakan ukuran partikel terkecil sebesar 0,425 mm untuk prinsip tersebut.

Ekstrak siwak dibuat dengan melarutkan 40 gram siwak halus ke dalam 200 mL aquades dan digoyangkan pada kecepatan 200 rpm selama 10 menit. Larutan siwak berikutnya didiamkan selama 48 jam di suhu ruangan pada botol kaca gelap. Kemudian disaring menggunakan kertas filter Whatman No. 1 dengan ukuran pori 11 µm untuk memisahkan zat terlarut dan zat yang tidak terlarut.

Tahap terakhir, filtrat dan residu dimasukkan ke dalam oven pada suhu 40°C selama 72 jam sebelum siap diuji.

Adapun variasi dosis yang ditambahkan adalah 1, 5, 10, dan 15 mL untuk ekstrak siwak, sedangkan untuk variasi dosis residu yaitu 1, 5, 10, dan 15 mg. Variasi dosis pada ekstrak dan residu siwak merupakan variabel bebas sama halnya dengan waktu kontak optimum yang ditentukan diantaranya 1, 5, 10, 15, 30, dan 60 menit. Semua sampel digoyangkan pada kecepatan 200 rpm sesuai dengan waktu kontak tersebut. Untuk setiap pengujian, ditetapkan pula kontrol tanpa adanya penambahan ekstrak ataupun residu untuk mengetahui kondisi awal Total E.Coli.

Setelah koloni E.Coli dihitung menggunakan persamaan 1., dilakukan analisis penyisihan koloni E.Coli akibat dari penambahan ekstrak maupun residu siwak dengan membandingkannya dengan kontrol, baik melalui persentase penyisihan maupun melalui perhitungan log reduksi (Persamaan 2. dan Persamaan 3.). Hasil tersebut diolah kembali untuk menentukan dosis dan waktu kontak optimum. Kemampuan ekstrak dan residu siwak dalam proses penyisihan bakteri E.Coli juga disajikan dengan persamaan 4 melalui nilai kematian. Nilai laju kematian bakteri memiliki fungsi dalam menunjukkan seberapa lama suatu senyawa dapat melakukan disinfeksi terhadap bakteri sekaligus sebagai acuan waktu dimana diperlukan dosis tambahan.

$$\text{Total E.Coli} \left(\frac{\text{CFU}}{\text{mL}} \right) = \frac{\text{Jumlah Koloni}}{\{\text{Pengenceran Sampel} \times \text{Volume Sampel (mL)}\}}$$

(Persamaan 1.)

$$\text{Penyisihan Koloni Bakteri (P)} = \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100\%$$

(Persamaan 2.)

$$\text{Log reduksi (L)} = -(\log_{10} (-\frac{P}{100} + 1))$$

(Persamaan 3.)

$$N = N_0 e^{-kt} \quad k = - \left[\frac{\ln \left(\frac{N}{N_0} \right)}{t} \right]$$

(Persamaan 4.)

Dimana:

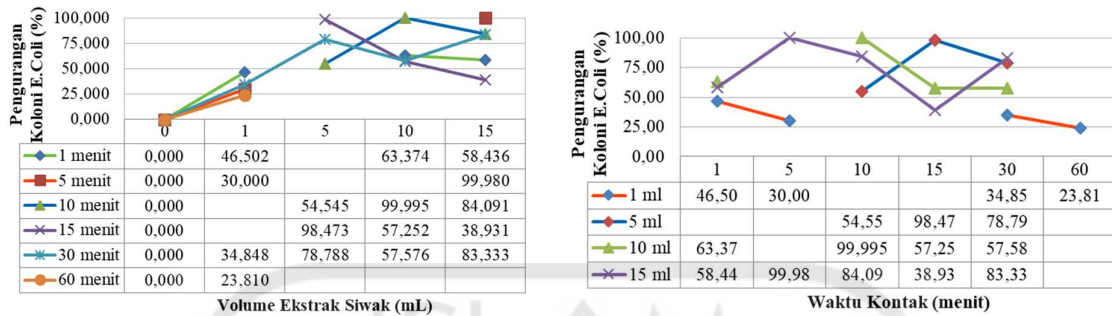
N : Total E.Coli pada waktu (t)

N₀ : Total E.Coli pada waktu (t=0)

k : Laju kematian bakteri (1/menit)

t : Waktu kontak (menit)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 1. Hasil Penyisihan Koloni E.Coli Setelah Penambahan Ekstrak Siwak Saat Dibandingkan dengan Volume Ekstrak (kiri) dan Waktu Kontak (kanan)

Pada waktu kontak 1, 5, dan 10 menit digunakan hasil dari pengenceran sampel 10^{-2} sedangkan pada waktu kontak 15, 30, dan 60 menit, pengenceran sampel 10^{-1} diaplikasikan untuk data pengamatan. Hal ini dikarenakan pada waktu kontak 1, 5, dan 10 menit, waktu kontak ekstrak dan koloni E.Coli masih singkat sehingga perubahan jumlah koloni tidak terlihat jika digunakan faktor pengenceran yang kecil. Lain halnya dengan jumlah koloni pada waktu kontak yang relatif lebih lama yaitu 15, 30, dan 60 menit pada pengenceran 10^{-1} sudah terlihat perubahannya.

Gambar 1 menunjukkan hasil penyisihan bakteri E.Coli secara keseluruhan terhadap variasi volume ekstrak yang digunakan. Penyisihan koloni E.Coli mampu mencapai 99,980% atau 3,7-log reduksi pada volume penambahan ekstrak 15 ml di waktu kontak 5 menit sedangkan saat waktu kontak 10 menit penyisihan koloni 99,995% atau 4,3-log reduksi terjadi pada penambahan ekstrak 10 ml. Jika dilihat secara umum, penyisihan koloni E.Coli telah mengalami kenaikan sejak penambahan volume 1 ml di seluruh waktu kontak, kecuali di waktu kontak 5, 10, dan 15 menit yang mengalami penurunan terlebih dahulu. Sebelum akhirnya pada volume selanjutnya mengalami variasi kenaikan dan penurunan yang tidak terlalu besar, kecuali pada waktu kontak 5 menit. Di beberapa variasi penambahan volume ekstrak siwak, koloni E.Coli berada pada lingkungan optimal sehingga tidak terjadi penurunan koloni, justru sebaliknya yang terjadi, koloni E.Coli mengalami proses regenerasi, yaitu menghasilkan data negatif, sehingga tidak ditampilkan pada gambar 1.

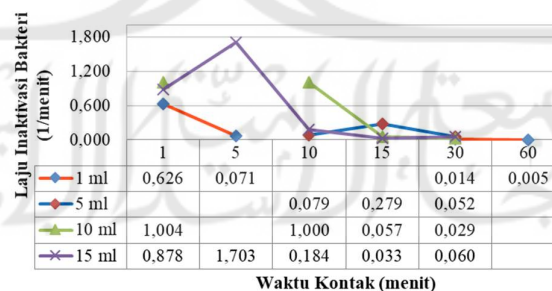
Setelah analisis dari pengaruh variasi volume ekstrak terhadap penyisihan E.Coli dilakukan, dibuat analisis juga terkait pengaruh variasi waktu kontak terhadap penyisihan E.Coli, hasilnya ditunjukkan melalui gambar 1. Jika dilakukan perbandingan antara penyisihan koloni E.Coli dengan waktu kontak, dapat disimpulkan bahwa waktu kontak 10-30 menit menunjukkan aktifitas antibakteri yang cenderung positif, sedangkan di menit awal sekitar 1 hingga 10 menit penyisihan koloni E.Coli beragam. Sehingga pengaruh penyisihan koloni E.Coli dan waktu kontak dapat menunjukkan

semakin sedikit volume yang ditambahkan maka semakin lama waktu yang diperlukan untuk penyisihan koloni E.Coli (Gambar 1). Namun hal tersebut tetap bergantung pada keberadaan senyawa organik di dalam air.

Sifat antibakteri diakibatkan oleh kombinasi dan sinergitas dari kandungan dari senyawa oxygenated monoterpene seperti 1,8-cineole dan anion (Cl^- dan SO_4^{2-}). Senyawa 1,8-cineole memiliki karakteristik hidrofobik yang mampu berakumulasi pada membran sel kemudian mengubah struktur dan fungsi membran. Setelah membran sel rusak, ion klorida melakukan oksidasi terhadap sistem enzim pada bakteri E.Coli sehingga metabolismenya terganggu. Ion klorida dan sulfat juga turut berperan dalam mengoksidasi senyawa organik di dalam air (Fair et al, 1948; Sikkema et al, 1994).

Pada beberapa sampel uji yang terlihat pada gambar 1 didapatkan hasil negatif yaitu hasil dimana jumlah koloni E.Coli sampel lebih banyak dibandingkan dengan kontrol. Hal ini dapat dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, yaitu: (1) keberadaan senyawa organik di dalam air cukup banyak sehingga anion Cl^- dan SO_4^{2-} mengoksidasi terlebih dahulu senyawa organik bukan koloni E.Coli, (2) senyawa 1,8-cineole telah bereaksi dengan bakteri lain di dalam air sehingga bakteri E.Coli memiliki kesempatan hidup lebih lama, dan (3) bakteri E.Coli telah melakukan regenerasi, sehingga volume senyawa antibakteri tidak dapat membunuh seluruh koloni E.Coli.

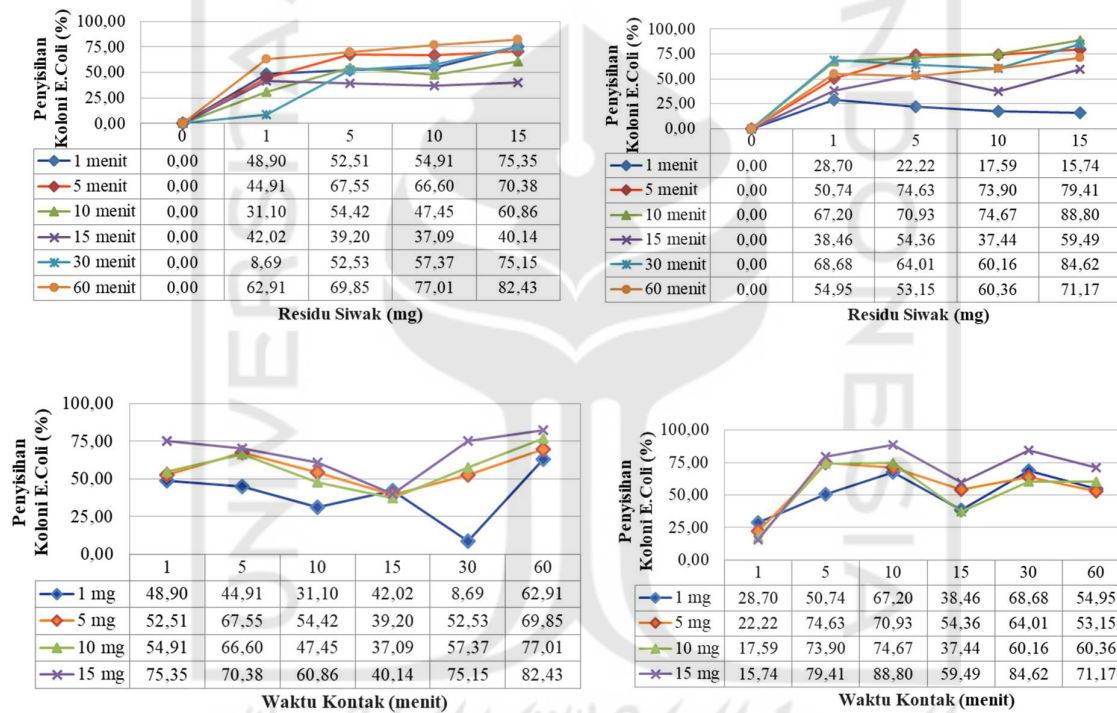
Kemampuan ekstrak siwak dalam proses penyisihan bakteri E.Coli juga dapat diketahui melalui konstanta laju kematian berikut (Gambar 2). Dari menit pertama hingga menit ke-60, nilai konstanta laju kematian mengalami penurunan karena senyawa aktif pada ekstrak siwak telah berinteraksi dengan sel bakteri. Nilai konstanta laju kematian ekstrak siwak mencapai nilai tertinggi sebesar 1,703/menit pada penambahan volume ekstrak sebesar 10 ml di waktu kontak 10 menit. Hal tersebut berarti setiap satu menit, hampir 2 koloni bakteri dapat mengalami penyisihan secara penuh.



Gambar 2. Laju Kematian E.Coli Setelah Penambahan Ekstrak Siwak

Pengujian berikutnya dilakukan terhadap residu (rafinat) siwak dan dianalisis seberapa besar penyisihan koloni E.Coli yang terjadi, dengan pengenceran yang digunakan untuk tiap sampel adalah 10^{-1} dan 10^{-2} . Pengenceran sampel tersebut ditentukan setelah melihat data pengujian sebelumnya

yaitu pada rentang koloni E.Coli yang teramati dan karena hasil yang didapatkan merupakan data pembandingan sehingga pengenceran yang dilakukan harus identik. Hasil yang didapatkan menunjukkan aktifitas antibakteri cenderung tinggi hingga 88,80% atau 0,951-log reduksi penyisihan koloni E.Coli pada waktu kontak 10 menit dengan massa residu 15 mg pada pengenceran 10^{-2} . Pola yang terbentuk dari penyisihan yang dilakukan oleh residu, baik pada pengenceran sampel 10^{-1} maupun pada pengenceran 10^{-2} (Gambar 3) adalah semakin banyak massa yang ditambahkan, maka semakin besar penyisihan koloni E.Coli yang akan terjadi. Dapat disimpulkan pula di dalam residu terdapat senyawa antibakteri yang lebih tinggi kemampuannya dibandingkan dengan kandungan ekstrak siwak, ditunjukkan oleh tidak adanya hasil negatif pada semua variasi massa.

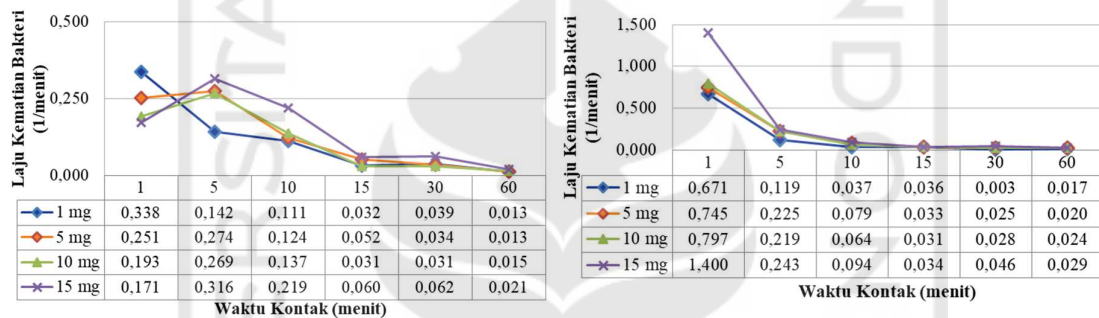


Gambar 3. Hasil Penyisihan Koloni E.Coli Setelah Penambahan Residu Siwak Saat Dibandingkan dengan Volume Ekstrak pada Pengenceran 10^{-1} dan 10^{-2} (atas) dan Waktu Kontak pada Pengenceran 10^{-1} dan 10^{-2} (bawah)

Senyawa non polar yang berperan aktif dalam aktifitas antibakteri ini terus bekerja dari menit pertama hingga waktu kontak mencapai 60 menit. *Benzylisothiocyanate* (BITC) yang merupakan senyawa non polar dominan dari siwak diindikasikan sebagai senyawa antibakteri yang berperan karena kandungannya dapat mencapai 18,1 – 52,5%. BITC memiliki efek genotoksik yang sangat kuat, khususnya terhadap bakteri E.Coli. Efek genotoksik adalah efek destruktif suatu senyawa

terhadap material genetik sel seperti DNA dan RNA (Al-Shohaibani and Murugan, 2012; Kassie et al, 1999; Noumi et al, 2011; Shah, 2012).

Konstanta laju kematian bakteri pada residu siwak menunjukkan hasil yang serupa dengan ekstrak siwak yaitu mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya waktu kontak, baik pada pengenceran 10^{-1} maupun 10^{-2} (Gambar 4). Pada pengenceran sampel 10^{-1} , nilai konstanta berada di dalam kisaran 0,017 – 1,400/menit sedangkan pada pengenceran sampel 10^{-2} konstanta sekitar 0,013 – 0,338/menit. Laju kematian mencapai nilai tertinggi saat penambahan 15 mg residu siwak di waktu kontak 1 menit. Memang saat dibandingkan dengan laju kematian ekstrak siwak masih memiliki nilai laju kematian yang lebih rendah, namun jika digunakan massa yang lebih tinggi bukan tidak mungkin dapat melampaui laju kematian ekstrak siwak.



Gambar 4. Laju Kematian E.Coli Setelah Penambahan Residu Siwak pada Pengenceran 10^{-1} (kiri) dan 10^{-2} (kanan)

Dosis dan Waktu Kontak Optimum

Dosis optimum adalah dosis minimal yang memiliki kemampuan tinggi. Tujuan dari keberadaan dosis optimum ini agar bahan yang digunakan dapat digunakan secara efektif dan limbah yang dihasilkan tidak berlebihan. Sedangkan waktu kontak optimum merupakan waktu kontak minimal dalam proses dengan hasil yang besar. Waktu kontak optimum diaplikasikan agar energi dan waktu yang diperlukan dalam proses dapat seefektif mungkin. Adapun faktor-faktor yang memengaruhi dosis optimum maupun waktu kontak optimum didasarkan pada faktor strategi dalam pemilihan disinfektan, yaitu: mampu menghilangkan keberadaan patogen dan mencegah produksi dari senyawa DBPs (*Disinfection by Products*) (US EPA, 1999).

Dosis optimum ekstrak dan residu siwak didapatkan dari dosis minimal yang memiliki kemampuan tinggi dalam penyisihan koloni E.Coli. Begitu pun dengan waktu kontak optimum adalah waktu kontak paling cepat dalam mengurangi koloni E.Coli secara signifikan. Pada ekstrak siwak,

dosis dan kontak optimum adalah sebesar 10 mL ekstrak siwak dengan waktu kontak 10 menit, mampu mengurangi koloni E.Coli sebanyak 99,995% atau 4,3-log reduksi. Sementara pada residu siwak, dosis dan waktu kontak optimum sebesar 5 mg residu dalam waktu kontak 5 menit, memiliki persentase penyisihan koloni E.Coli 74,63% atau 0,274-log reduksi pada pengenceran sampel 10^{-2} . Kemampuan ekstrak dan residu siwak ini dalam mengurangi koloni E.Coli dalam sampel air menunjukkan potensi besar dalam aplikasi pemanfaatan dalam disinfeksi air minum. Namun dalam aplikasi secara langsung, dosis dan kontak optimum dapat berbeda dikarenakan kandungan senyawa organik maupun koloni E.Coli yang beranekaragam tergantung dari kualitas air baku.

Keunggulan Siwak dibandingkan Disinfektan Lain

Apabila dibandingkan dengan disinfektan yang sudah digunakan secara luas, siwak memiliki keunggulan diantaranya:

1. Senyawa polar dan non polar yang terkandung di dalam siwak dapat digunakan sebagai disinfektan sama baiknya, sehingga siwak mampu diekstrak dengan berbagai metode dan jenis pelarut.
2. Ekstrak dan residu siwak cenderung memiliki dosis dan waktu kontak yang rendah jika dibandingkan dengan larutan klorin. Untuk studi kasus sampel air sungai yang dilakukan Supriyadi dkk (2016) membutuhkan setidaknya 3,5 mg/L klorin untuk dosis optimum dan 4 mg/L untuk efisiensi 100% penyisihan koloni E.Coli. Sementara, Komala dan Ajeng (2014) menjelaskan bahwa perlu menambahkan 50 mg/L klorin selama waktu kontak 30 menit untuk menyisihkan 100% koloni E.Coli pada sampel air sumur di kawasan Purus. Untuk ekstrak siwak sendiri membutuhkan 10 mL ekstrak selama waktu kontak 10 menit dalam penyisihan 99,995% atau 4,3-log reduksi koloni E.Coli, sedangkan pada residu siwak penyisihan 88,80% atau 0,951-log reduksi dicapai dengan penambahan 15 mg residu selama waktu kontak 10 menit. Begitu pun jika ekstrak siwak dibandingkan dengan penggunaan proses modifikasi seperti chlorine electrolysis yang hanya menghasilkan nilai 3,5-log reduksi (Bischoff et al, 2012).
3. Konstanta laju kematian bakteri dengan ekstrak siwak diketahui mampu mencapai 1,703/menit sedangkan residu siwak memiliki nilai tertinggi sebesar 1,400/menit. Bila dibandingkan dengan senyawa kaporit yang dilakukan oleh Komala (2014), hanya mampu mencapai nilai 0,098/menit, lebih rendah dibandingkan penggunaan ekstrak siwak.

4. Aplikasi ekstrak siwak dengan pelarut air pada proses disinfeksi memiliki kemungkinan sangat kecil membentuk senyawa DBPs saat dosis berlebih dibandingkan dengan penggunaan senyawa kimia konvensional seperti kaporit.

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan penelitian ini adalah:

1. Ekstrak siwak mengandung senyawa *oxygenated monoterpene* yaitu 1,8-Cineole dan anion (Cl^- dan SO_4^{2-}) yang bersinergi dalam merusak membran sel dan melakukan penetrasi terhadap sistem enzim bakteri E.Coli. Sementara residu siwak mengandung senyawa *Benzylisothiocyanate* (BITC) yang bersifat genotoksik. Siwak mampu melakukan disinfeksi terhadap 99,995% atau 4,3-log reduksi dan 99,980% atau 3,7-log reduksi bakteri *Escherichia coli* pada volume ekstrak sebesar 15 mL dengan waktu kontak 5 menit dan 10 mL pada waktu kontak 10 menit. Laju kematian bakteri pada penggunaan ekstrak siwak berada pada kisaran -0,167-1,703/menit. Sedangkan residu siwak mampu mengurangi keberadaan E.Coli sebanyak 88,80% atau 0,951-log reduksi saat massa residu sebesar 15 mg dengan waktu kontak 10 menit dan laju kematian bakteri antara 0,013-1,400/menit.
2. Dosis dan waktu kontak optimum ekstrak siwak terhadap sampel air adalah 10 mL ekstrak dengan waktu kontak 10 menit sedangkan pada residu siwak, dosis dan waktu kontak optimum dicapai saat massa sebesar 5 mg dengan waktu kontak 5 menit.

5. SARAN

Saran dari penelitian yang telah dilakukan terhadap penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Analisis terhadap konsentrasi senyawa yang berperan dalam disinfeksi menggunakan ekstrak siwak dengan media air perlu dilakukan lebih lanjut.
2. Perlu dilakukan pengujian terkait kemampuan ekstrak siwak dengan pelarut dan metode ekstraksi lainnya serta pada waktu kontak yang lebih lama.
3. Pengujian kemampuan siwak terhadap patogen yang menyebar melalui air (*waterborne diseases*) lainnya juga perlu dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

AbdElRahman, Howalda F., Skaugs, Nils., and Francis, George W (2002). **In Vitro Antimicrobial Effects of Crude Miswak Extracts on Oral Pathogens.** *Saudi Dental Journal*. 14. 1. 26 – 32.

- Abhary, Mohammad., and Al-Hazmi, Abdul-Aziz (2016). **Antibacterial Activity of Miswak (*Salvadora persica* L) Extracts on Oral Hygiene.** *Journal of Taibah University for Science.* **10.** 513 – 520.
- Al-Sohaibani, Saleh., and Murugan, Kasi (2012). **Anti-biofilm Activity of *Salvadora persica* on Cariogenic Isolates of *Streptococcus mutans*: In Vitro and Molecular Docking Studies.** *Biofouling.* **28.** 1. 29 – 38.
- Alali, F., Hudaib, M., Aburjai, T., Khairallah, K., and Al-Hadidi, N (2004). **GC-MS Analysis and Antimicrobial Activity of the Essential Oil from the Stem of the Jordanian Toothbrush Tree *Salvadora persica*.** *Pharmaceutical Biology.* **42.** 8. 577 – 580.
- Amin, Muhammad T., Nawaz, Mohsin., Amin, Muhammad N., and Han, Mooyoung (2014). **Solar Disinfection of *Pseudomonas aeruginosa* in Harvested Rainwater: A Step towards Potability of Rainwater.** *Public Library of Science (PLOS) One.* **9.** 3.
- Atef A, Abou-Zaid., Elbandy, M., and Nadir A (2015). **Miswak (*Salvadora persica*) Roots as Antibacterial Agent and a Potential Food Bio Preservative.** *International Journal of Science and Research.* **4.** 2. 2288 – 2293.
- American Water Works Association. **Multiple Tube Fermentation Technique (9221).**
- Badan Standardisasi Nasional (1991). **Standar Nasional Indonesia 06-2412-1991 tentang Pengambilan Contoh Kualitas Air.** Jakarta.
- Bitton, Gabriel (2014). **Microbiology of Drinking Water Production and Distribution.** John Wiley & Sons, Inc.
- Bischoff, A., Cornel, P., and Wagner, M (2012). **Choosing the Most Appropriate Technique for Wastewater Disinfection – Parallel Investigation of Four Disinfection Systems with Different Preceding Treatment Processes.** *Water Practice & Technology.* **7.** 3.
- Boss, Renate., Overesch, Gudrun., and Baumgartner, Andreas (2016). **Antimicrobial Resistance of *Escherichia coli*, *Enterococci*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Staphylococcus aureus* From Raw Fish and Seafood Imported into Switzerland.** *Journal of Food Protection.* **79.** 7. 1240 – 1246.
- Chemat, Farid., and Vian, Maryline Abert (2014). **Alternative Solvents for Natural Products Extraction.** Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Daga, Priya., Asrani, Hemant., Farista, Shanin., and Mishra, Praveen (2017). **Comparative Evaluation of Antimicrobial Efficacy of Neem, Miswak, Propolis, and Sodium Hypochlorite againsts *Enterococcus faecalis* using Endovac.** *International Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry.* **7.** 2. 60 – 65.
- Darout, Ismail A., Christy, Alfred A., Skaug, Nils., and Egeberg, Per K (2000). **Identification and Quantification of Some Potentially Antimicrobial Anionic Components in Miswak Extract.** *Indian Journal of Pharmacology.* **32.** 11 – 14.
- De Zuane, John (1997). **Handbook of Drinking Water Quality Second Edition.** John Wiley & Sons, Inc.
- Environmental Protection Agency (2011). **Water Treatment Manual: Disinfection.** Wexford.
- El-Desoukey, Rehab Mohammed Atta (2015). **Comparative Microbiological Study between the Miswak (*Salvadora persica*) and the Toothpaste.** *International Journal of Microbiological Research.* **6.** 1. 47 – 53.
- Fair, Gordon M., Morris, J Carrell., Chang, Shih Lu., Weil, Ira., and Burden, Robert P (1948). **The Behaviour of Chlorine as a Water Disinfectant.** *Journal (American Water Works Association).* **40.** 10. 1051 – 1061.
- Farag, Mohamed A., Fahmy, Sherifa., Choucry, Mouchira A., Wahdan, Mariam O., and Elsebai, Mahmoud Fahmi (2017). **Metabolites Profiling Reveals for Antimicrobial Compositional Differences and Action Mechanism in the Toothbrushing Stick “Miswak” *Salvadora persica*.** *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis.* **111.** 32 – 40.
- Fatkhurrohman, Fuad., dan Medawati, Ana (2013). **Efektifitas Ekstrak Etanol Kayu Siwak (*Salvadora persica* L.) dengan Metode Perkolasi terhadap Pertumbuhan *Staphylococcus aureus* Isolat 248 yang Resisten Multiantibiotik.** *Insisiva Dental Journal.* **2.** 2.
- Global Burden of Diseases Diarrhoeal Diseases Collaborators (2017). **Estimates of Global, Regional, and National Morbidity, Mortality, and Aetiologies of Diarrhoeal Diseases: a Systematic Analysis for the Global Burden of Diseases Study 2015.** *The Lancet Infectious Diseases.* **17.** 9. 909 – 948.

- Gozan, Misri (2006). **Absorpsi, Leaching, dan Ekstraksi pada Industri Kimia**. Penerbit Universitas Indonesia.
- Hong, H.C., Liang, Y., Han, B.P., Mazumder, A., Wong, M.H (2007). **Modelling of Trihalomethane (THM) Formation via Chlorination of the Water from Dongjiang River (Source Water for Hong Kong's Drinking Water)**. *Science of the Total Environment*. **385**. 48-54.
- Imam An-Nawawi. **Shahiih Muslim Bi Syarhin-Nawawi**. Ditahqiq dan ditakhrij oleh: Ash-Shababithi, Isham., Muhammad, Hazim., and 'Amir 'Imad (1994). Daarul Hadiits. Diterjemahkan oleh: Soffandi, Wawan Djunaedi (2004). **Terjemah Syarah Shahiih Muslim: Buku 2 Edisi Lengkap**. Mustaqiim.
- Integrated Taxonomic Information System (2018). *Escherichia coli*. https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=285#null (31 Juli 2018).
- International Standar Organization (2014). **Enumeration of Escherichia coli adn Coliform Bacteria (9308-1)**. Switzerland.
- Kawamura, Susumu (1991). **Integrated Design of Water Treatment Facilities**. John Wiley & Sons, Inc.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (2017). **Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2016**. Jakarta.
- Khatak, M., Khatak, S., Siddqui, A A., Vasudeva, N., Aggarwal, A., and Aggarwal, P (2010). *Salvadora persica*. *Pharmacognosy Review*. **4**. 8. 209 – 214.
- Komala, Puti Sri., dan Yanarosanti, Ajeng (2014). **Inaktivasi Bakteri Escherichia coli Menggunakan Disinfektan Kaporit**. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*. **11**. 1. 34 – 47.
- Lerner, K Lee., and Lerner, Brenda Wilmoth (2003). **World of Microbiology and Immunology**. Gale.
- Louisiana Department of Health (2016). **Escherichia coli (E.coli) Infections**. Louisiana.
- Louisiana Department of Health (2018). **Pathogenic E.coli**. <http://www.ldh.la.gov/assets/oph/Center-PHCH/Center-CH/infectious-epi/EpiManual/EcoliSummary.pdf> (31 Juli 2018).
- Makanjuola, Solomon A (2017). **Influence of particle size and extraction solvent on antioxidant properties of extracts of tea, ginger, and tea-ginger blend**. *Food Science and Nutrition*. **5**. 1179 – 1185.
- Masduqi, Ali., dan Assomadi, Abdu F (2012). **Operasi & Proses Pengolahan Air**. ITS PRESS.
- Mezule, L., Tsyfansky., S., Yakushevich, V., and Juhna, T (2010). **A Simple Technique for Water Disinfection with Hydrodynamic Cavitation: Effect on Survival of Escherichia coli**. *Desalination*. **251**. 152 – 159.
- Noumi, Emira., Snoussi, Mejdi., Trabelsi, Najla., Hajlaoui, Hafedh., Ksouri, Riadh., Valentin, Eulogio., and Bakhrouf, Amina (2011). **Antibacterial, Anticandidal, and Antioxidant Activities of Salvadora persica and Juglans regia L. Extracts**. *Journal of Medicinal Plants Research*. **5**. 17. 4138 – 4146.
- Qasim, Syed R (1985). **Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation**. CBS International Editions.
- Hong, H.C., Liang, Y., Han, B.P., Mazumder, A., and Wong, M.H (2007). **Modelling of Trihalometane (THM) Formation via Chlorination of the Water from Dongjiang River (Source Water for Hong Kong's Drinking Water)**. *Science of the Total Environment* **385**. 48 – 54.
- Pennsylvania Department of Environmental Protection (Pa. DEP) (2016). **Wastewater Treatment Plant Operator Certification Training, Module 5: Disinfection and Chlorination**. *Pennsylvania*.
- Kassie, Fekadu., Pool-Zobel, Beatrice., Parzefall, Wolfram., and Knasmuller, Siegfried (1999). **Genotoxic effects of benzyl isothiocyanate, a natural chemopreventive agent**. *Mutagenesis*. **14**. 6. 595 – 603.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (2010). **Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum**. Jakarta.
- Rahmani, Nani., dan Handayani, Sarah (2016). **Kontaminasi Bakteri Escherichia coli pada Makanan dan Minuman Penjual Jajanan di Lingkungan Pendidikan Muhammadiyah Limau, Jakarta Selatan**. *ARKESMAS*. **1**. 1. 25 – 35.
- Reynolds, Jackie (2011). **Counting Bacteria**. Richland College.
- Richardson, Susan D., DeMarini, David M., Kogevinas, Manolis., Fernandez, Pilar., Marco, Esther., Lourencetti, Carolina., Balleste, Clara., Heederik, Dick., Meliefste, Kees., McKague, A.Bruce., Marcos Ricard., Font-Ribera, Laia., Grimalt, Joan O., and Villanueva, Cristina M (2010). **What's in the Pool? A Comprehensive Identification of Disinfection By-products and Assessment**

- of Mutagenicity of Chlorinated and Brominated Swimming Pool Water.** *Environmental Health Perspectives*. **118**. 1. 1523 – 1530.
- Saini, Gurvinder Kaur (2014). **Microbiology: Module-5 Microbial Growth and Control.** <https://nptel.ac.in/courses/102103015/pdf/mod5.pdf> (05 Maret 2019).
- Shah, Shaily Umang (2012). **Importance of Genotoxicity & S2A guidelines for genotoxicity testing for pharmaceuticals.** *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences (IOSRJPBS)*. **1**. 2. 43 – 54.
- Shammas, Nazih K., and Wang, Lawrence K (2016). **Water Engineering: Hydraulics, Distribution, and Treatment.** John Wiley & Sons, Inc.
- Sikkema, Jan., de Bont, Jan A M., and Poolman, Bert (1994). **Interactions of Cyclic Hydrocarbons with Biological Membranes.** *The Journal of Biological Chemistry*. **269**. 11. 8022 – 8028.
- Sofrata, Abier., Claesson, Rolf L K., Lingstrom, Peter K., and Gustafsson, Anders K (2008). **Strong Antibacterial Effect of Miswak Againsts Oral Microorganisms Associated with Periodontitis and Caries.** *Journal of Periondotology*. **79**. 8.
- Sofrata, Abier., Santangelo, Ellen M., Azeem, Muhammad., Borg-Karlson, Anna-Karin., Gustafsson, Anders., and Putsep, Katrin (2011). **Benzyl Isothiocyanate, a Major Component from the Roots of *Salvadora persica* is Highly Active againsts Gram-Negative Bacteria.** *PloS ONE*. **6**. 8. 3 – 10.
- Supriyadi., Sumantri, Indro., dan Hartati, Indah (2016). **Pengaruh Dosis Klorin pada Pertumbuhan Bakteri Coliform Total dan *Escherichia coli* pada Sungai Kreo, Sungai Garang, dan Sungai Tugu Suharto.** *Momentum*. **12**. 1. 30 – 35.
- Tan, Sing Pei., Stathopoulos, Costas., Parks, Sophie., and Roach, Paul (2014). **An Optimized Aqueous Extract of Phenolic Compounds from Bitter Melon with High Antioxidant Capacity.** *Antioxidants*. **3**. 814 – 829.
- Tektook, Nihad Khalawe (2016). **The Antibacterial Effect of Extracts of *Salvadora persica* Againsts Oral Pathogenic Bacteria Isolated from Dental Caries.** *Al-Kufa University Journal for Biology*. **8**. 3. 253 – 263.
- United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization (2015). **Water for A Sustainable World.** France.
- United States Environmental Protection Agency (1999). **Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual.** Washington.
- Wardani, Aini Pramoda (2012). **Pengaruh Pemberian Larutan Ekstrak Siwak (*Salvadora persica*) pada Berbagai Konsentrasi terhadap Petumbuhan *Streptococcus mutans*.** Karya Tulis Ilmiah. Universitas Diponegoro.
- Wonorahardjo, Surjani (2013). **Metode-metode Pemisahan Kimia: Sebuah Pengantar.** Akademia Permata.
- World Gastroenterology Organisation (2012). **Acute Diarrhea in Adults and Children: a Global Perspective.** Wisconsin.
- World Health Organization (2014). **Preventing Diarrhoea Trough Better Water, Sanitation, and Hygiene: Exposures and Impact in Low- and Middle-Income Countries.** Geneva.
- World Health Organization (2017). **Progress on Drinking Water, Sanitation, and Hygiene: 2017 Update and SDG Baselines.** Geneva.
- World Health Organization (2017). **World Health Statistics 2017: Monitoring Health for the SDGs, Sustainable Development Goals.** Geneva.