# Pengaruh Variasi Waktu Paparan Gelombang Ultrasonik dalam Mengurangi Jumlah Bakteri *coliform* pada Sampel Air Sungai Kahayan

(masuk/*received* 10 Januari 2020, diterima/*accepted* 13 April 2020)

# *Effect of Ultrasonic Waves Exposure Time Variation in Reducing the Number of Coliform Bacteria in Kahayan River Water Samples*

**Neny Kurniawati[1], Kerelius[2], Siti Sunariyati[3], Luqman Hakim[1], Dyah Ayu Pramoda Wardani[2], Widya Krestina[3], Dwi Tyas Setiawan[1], Ferry Purwanto[2], Diah K. Fatmala[3]**

[1]Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Palangka Raya
[2]Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Palangka Raya
[3]Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Palangka Raya
Palangka Raya 73112, Indonesia
*nenyphysics@windowslive.com*

https://doi.org/10.35895/rf.v4i1.168

**Abstrak –** *Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh waktu paparan gelombang ultrasonik terhadap pengurangan jumlah koloni bakteri coliform pada sampel air sungai Kahayan. Pengambilan sampel air sungai dilakukan dengan teknik Grab Sampling menggunakan alat Kemmerer Sampler. Sampel air yang didapatkan diberikan paparan gelombang ultrasonik secara langsung, tanpa merubah kondisi lingkungan awal. Waktu paparan divariasikan pada 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam dengan frekuensi 40 kHz untuk memperoleh data waktu optimum. Uji coliform dilakukan dengan metode MPN, dengan tahapan uji pendugaan, uji penegasan, dan perhitungan koloni. Hasil uji MPN 24 jam setelah paparan menunjukkan bahwa penggunaan ultrasonik sebagai antibateri dapat optimum ketika diberikan paparan dengan waktu 3 jam, dengan efisiensi 96%.*

**Kata kunci:** *antibakteri, coliform, ultrasonik, water treatment, sungai Kahayan*

**Abstract –** *This study aims to examine the effect of ultrasonic wave exposure time on reducing the number of coliform bacterial colonies in the Kahayan river water samples. River water sampling is done using the Grab Sampling technique using the Kemmerer Sampler tool. The water samples obtained were given direct ultrasonic wave exposure, without changing the initial environmental conditions. The exposure time is varied in 1 hour, 2 hours, 3 hours, 4 hours and 5 hours with a frequency of 40 kHz to obtain optimum time data. Coliform test was carried out by the MPN method, with the stages of the estimation test, affirmation test, and colony calculation. The MPN test results 24 hours after exposure showed that the use of ultrasonic as an antibody can be optimum when given exposure with a time of 3 hours, with an efficiency of 96%.*

**Keywords :** *antibakterial, coliform, ultrasonic, water treatment, Kahayan river*

## I. PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi manusia, dan merupakan habitat yang sangat mudah tercemar oleh berbagai faktor. Dewasa ini keberadaan kebersihan air permukaan di Indonesia sudah sangat mengkhawatirkan, berdasarkan data Badan Pusat Statistik Indonesia 75% sungai di Indonesia dalam status tercemar berat, demikian juga dengan air Sungai Kahayan pada tahun 2008 sudah terkategori tercemar berat [1]. Salah satu penyebab tercemarnya air adalah kontaminasi air limbah oleh bakteri patogen dan bakteri resisten yang bersikap kondusif terhadap penyebaran penyakit bakteri dan virus. Air yang terkontaminasi ini terutama karena polusi tinja, tetapi juga karena polusi industri.

Pencegahan yang paling penting untuk mengatasi kontaminasi air adalah dengan cara mengontrol air limbah. Beberapa metode telah digunakan untuk mengurangi bakteri patogen, seperti menggunakan bahan kimia (antibiotik) [2], proses fisika ($\gamma$ dan radiasi UV) [3], dan teknik fisika-kimia (proses membran) [4,5]. Namun, resistensi bakteri terhadap antibiotik telah terjadi secara cepat, resistensi ini merupakan faktor utama yang mempersulit terapi infeksi.

Salah satu metode untuk membunuh bakteri coliform dapat dilakukan dengan pemberian gelombang ultrasonik pada sampel air. Penelitian tentang penggunaan gelombang ultrasonik untuk membunuh bakteri pernah dilakukan oleh Zhou, dkk pada tahun 2009 untuk membunuh bakteri *E. coli* pada daun bayam selama 0-4 menit, pemberian treatment gelombang ultrasonik memberikan dampak signifikan terhadap menurunnya jumlah koloni bakteri pada bayam [6]. Selain itu terdapat pemanfaatan gelombang ultrasonik untuk mengurangi jumlah *Salmonella typhimurium* pada susu, pengkajian efek gelombang ultrasonik pada air kaldu sapi, dan mengontrol mikroba pada air [7-12].

Pemanfaatan gelombang ultrasonik sebagai antibakteri coliform yang dilakukan dalam penelitian ini telah diawali dengan penelitian tentang rancang bangun sistem pembangkit gelombang ultrasonik sebagai metode alternatif menurunkan jumlah bakteri *E. coli* pada proses penjernihan air. Penelitian yang dilaksanakan oleh Suastika, Martani, dan Hartanto pada tahun 2015 dilakukan dengan menguji pemberian gelombang ultrasonik pada sampel air Sungai Kahayan dengan memvariasikan frekuensi kerja hingga 28 kHz dan dilaporkan bahwa pada paparan gelombang ultrasonik dengan frekuensi 27,6 kHz didapakan hasil optimum untuk membunuh bakteri E.coli dengan presentase sebesar 37,8% [13].

Berdasarkan hal tersebut dalam penelitian ini dikaji mengenai penggunaan paparan ultrasonik sebagai antibakteri pada air Sungai Kahayan. Keuntungan yang diharapkan dari metode ini adalah proses pengolahan air dan limbah cair dapat menghasilkan air dengan kualitas yang lebih baik. Tujuan penelitian ini adalah, mengetahui pengaruh paparan ultrasonik sebagai antibakteri *coliform* pada air Sungai Kahayan.

## II. LANDASAN TEORI

Gelombang ultrasonik merupakan gelombang bunyi yang frekuensinya berada di atas ambang frekuensi audio, atau lebih besar dari 20 kHz. Gelombang bunyi sendiri merupakan jenis gelombang longitudinal yang merambat melalui berbagai jenis medium dengan kelajuan yang dipengaruhi oleh jenis medium tersebut. Kelajuan gelombang bunyi di dalam medium perantara bergantung pada kompresibilitas dan kerapatan medium. Jika mediumnya adalah cairan atau gas yang modulus bulk-nya adalah $B$ (N/m$^2$) dan kerapatan $\rho$ (kg/m$^3$), maka kelajuan gelombang bunyi pada medium tersebut adalah,

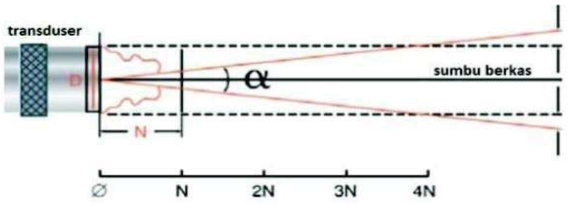
$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \tag{1}$$

$v$ dalam satuan m/s. Kelajuan bunyi juga bergantung pada suhu medium, untuk bunyi yang merambat pada medium air, hubungan antara kelajuan bunyi dengan suhunya adalah

$$v = 1493\ \text{m/s}\sqrt{\rho_{air} + \frac{T_C}{298°\text{C}}} \tag{2}$$

dengan 1493 m/s adalah kelajuan bunyi di air pada suhu 25°C, dan $T_C$ adalah suhu air dalam derajat Celcius [14].

Gelombang ultrasonik dapat dibangkitkan melalui transduser piezoelektrik seperti *tweeter* speaker, atau menggunakan transduser feroelektrik. Pola perambatan gelombang ultrasonik menyebar dengan sudut sebaran yang berbanding terbalik dengen frekuensi kerja (Gambar 1). Gelombang ultrasonik sebagai antibakteri memanfaat-kan prinsip kerja transduser ultrasonik. Transduser ultrasonik – yang terdiri dari bagian pengirim dan penerima – bekerja dengan prinsip yang mirip dengan sonar yang mengevaluasi atribut target dengan mengin-terpretasikan gema dari audio. Transduser ultrasonik menghasilkan gelombang suara dengan frekuensi tinggi dan mengevaluasi gema yang diterima kembali oleh perangkat ultrasonik [13].




**Gambar 1**. Pola Sebaran Gelombang Ultrasonik

Penelitian tentang potensi ultrasonik untuk membunuh microba telah dimulai pada tahun 1960-an, setelah ditemukan bahwa gelombang bunyi yang dihasilkan oleh sonar kapal dapat membunuh ikan. Melalui proses sonikasi, gelombang longitudinal yang dihasilkan oleh gelombang bunyi berinteraksi dengan medium cair, sehingga menghasilkan daerah kompresi dan ekspansi yang mengakibatkan terjadinya perubahan tekanan dan terbentuk gas dalam medium tersebut. Gelembung dari gas ini memiliki permukaan yang terus membesar selama siklus ekspansi, yang meningkatkan difusi gas, dan menyebabkan gelembung terus meluas. Suatu titik tercapai di mana energi ultrasonik yang disediakan tidak cukup untuk mempertahankan fase uap dalam gelem-bung; oleh karena itu, kondensasi terjadi dengan cepat. Molekul-molekul kental bertabrakan keras, menciptakan gelombang kejut. Gelombang kejut ini menciptakan daerah dengan suhu dan tekanan yang sangat tinggi, mencapai hingga 5.500 ºC dan 50.000 kPa. Perubahan tekanan yang dihasilkan dari peristiwa ini adalah efek utama ultrasonik pada bakteri. Zona panas ini dapat membunuh beberapa bakteri, akan tetapi keadaanya terlokalisir dan tidak dapat mempengaruhi area yang cukup luas [15].

Zhou, dkk pada tahun 2009 melakukan penelitian pemanfaatan gelombang ultrasonik untuk membunuh bakteri *E. coli* pada daun bayam selama 0-4 menit, pemberian perlakuan gelombang ultrasonik memberikan dampak signifikan terhadap menurunnya jumlah koloni bakteri pada daun bayam dibandingkan dengan daun bayam yang hanya diberi perlakuan dicuci dengan air saja [6]. Studi lain menggambarkan bahwa perlakuan kombinasi sonikasi gelombang ultrasonik dan perlakuan panas pada cairan akan berdampak sangat efektif pada berkurangnya jumlah koloni bakteri *E. coli* pada susu [16].

Studi lain menggambarkan bahwa perlakuan kombinasi sonikasi gelombang ultrasonik dan perlakuan panas pada cairan akan berdampak sangat efektif pada berkurangnya jumlah koloni bakteri *E. coli* pada susu. Sonikasi gelombang ultrasonik saja sebenarnya sudah memberikan efek inaktivasi pada bakteri, dan setelah dikombinasikan dengan perlakuan panas berdampak lebih signifikan terhadap menurunnya jumlah bakteri dalam susu. Penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu sonikasi gelombang ultrasonik, maka jumlah bakteri pada susu akan semakin berkurang, sementara pada proses

sonikasi dengan waktu yang lebih singkat jumlah bakteri lebih banyak [16].

## III. METODE PENELITIAN/EKSPERIMEN

### 3.1 Instrumen dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Kemmerer Sampler* digunakan dalam pengambilan sampel air.
2. Pembangkit sinyal (signal generator) digunakan sebagai penghasil gelombang frekuensi tinggi.
3. Speaker *tweeter* ultrasonik sebagai tranduser gelombang ultrasonik.
4. *Autoclave*, inkubator, *laminar air flow*, tabung reaksi, tabung durham, kawat inokulasi, erlenmeyer, spritus, mikroskop dan botol, *colony counter* (digunakan dalam proses pengujian koloni bakteri).

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alkohol, kapas, serta media: *Lactosa Broth* (LB), *Brilliant Green Lactosa Bile* (BGLB), *Eosin Methilen Blue* (EMB).

### 3.2 Metode

Metode Penlitian di bagi menjadi 3 tahapan, yaitu: pengambilan sampel air Sungai Kahayan, sonikasi dengan menggunakan ultrasonik, dan penghitungan jumlah koloni bakteri.

#### 3.1.1 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air menggunakan teknik *Grab Sampling* menggunakan alat *Kemmerer Sampler*. Sampel diambil dari air Sungai Kahayan, dengan titik pengambilan sampel dengan memperhitungkan kedalaman sungai, lebar sungai, dan debit air. Sungai Kahayan memiliki kedalaman 7 m, lebar 500 m, debit air terbesar 2.716 $m^3$/detik dan debit air terkecil 26,30 $m^3$/detik. Pengambilan sampel air Sungai Kahayan dilaksanakan pada bulan Juni 2019. Berdasarkan data tersebut, maka pengambilan sampel air Sungai Kahayan dilakukan pada titik lebar 375 m dan kedalaman Sungai Kahayan pada titik 1,4 m.

Tahapan pengambilan sampel adalah sebagai berikut:

1. Peralatan yang digunakan dalam pengambilan sampel disterilisasi terlebih dahulu sebelum digunakan.
2. Sebelum pengambilan sampel, tangan diaseptik terlebih dahulu dengan menggunakan alkohol 70%.
3. Buka botol sampel dari kertas pelindung (dibuka sampai setengah saja untuk menghindari kontaminasi).
4. Mengisi botol dengan sampel air hingga ¾ botol.
5. Lalu ditutup kembali.
6. Seluruh proses pengambilan dilakukan secara aseptis (bebas dari infeksi).

#### 3.1.2 Sonikasi Menggunakan Gelombang Ultrasonik

Pada tahapan ini sampel air Sungai Kahayan akan diberi perlakukan dengan gelombang ultrasonik. Tahapan sonikasi adalah sebagai berikut:

1. Gelombang ultrasonik dibangkitkan menggunakan *speaker tweeter piezo* dengan frekuensi 40 kHz. Pengaktifan pengoperasian speaker menggunakan pembangkit gelombang ultrasonik (*signal generator*).
2. Sampel air Sungai Kahayan dimasukkan ke dalam wadah yang bagian atasnya diletakkan speaker piezo (Gambar 2) dengan memvariasi waktu paparan dimulai dengan 1 jam paparan.

**Gambar 2**. Proses Sonikasi Air Sungai Kahayan.

3. Proses sonikasi diulang untuk waktu 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam.

#### 3.1.3 Pemeriksaan Jumlah Koloni Bakteri *coliform*

Sampel air yang telah diberi perlakukan untrasonik kemudian diperiksa jumlah koloni bakteri *coliform*, sebagai kontrol diperiksa pula koloni bakteri pada sampel tanpa perlakuan. Pemeriksaan *coliform* dibagi menjadi 2 tahapan, yaitu pemeriksaan kuantitatif dan pemeriksaan kualitatif.

##### 3.1.3.1 Pemeriksaan Kuantitatif

*A. Uji Pendugaan*

Uji pendugaan merupakan uji spesifik untuk deteksi bakteri c*oliform*, ini merupakan tes pendahuluan tentang ada tidaknya kehadiran bakteri *coliform* berdasarkan terbentuknya asam dan gas yang disebabkan karena fermentasi laktosa oleh bakteri golongan *coli.* Metode yang digunakana dalah metode *Most Probable Number* (MPN) seri 3 tabung. Prinsip dari metode MPN yaitu menghitung jumlah perkiraan terdekat melalui uji penduga.

Prosedur uji pendugaan adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan tabung reaksi yang telah berisi tabung durham, dengan posisi mulut terbalik atau menghadap ke dasar tabung reaksi.
2. Membuat media *Lactosa Broth Single Strength (LBSS)* sebanyak 60 ml dan media *Lactosa Broth Double Strength (LBDS)* 30 ml
3. Memasukkan larutan *LBSS* ke dalam 6 tabung reaksi dengan menggunakan pipet volume, 10 ml tiap tabung.
4. Memasukkan larutan *LBDS* ke dalam 3 tabung reaksi dengan menggunakan pipet volume, 10 ml tiap tabung.

5. Media pada tabung reaksi disterilisasi dengan *autoclave*
6. Mengambil sampel air sebanyak 10 ml menggunakan pipet, memasukkan dalam 3 tabung reaksi yang telah berisi larutan *LBDS*
7. Mengambil sampel air sebanyak 1 ml menggunakan pipet, memasukkan ke dalam 3 tabung reaksi yang telah berisilarutan *LBSS*
8. Mengambil sampel air sebanyak 0.1 ml menggunakan pipet, memasukkan kedalam 3 tabung reaksi yang telah berisi larutan *LBSS*.
9. Seluruh tabung diinkubasi selama 24 jam sampai dengan 48 jam (Apabila pada inkubasi 1 × 24 jam hasilnya negatif, maka dilanjutkan dengan inkubasi 2 × 24 jam) pada suhu 35 °C.
10. Apabila dalam waktu 2 × 24 jam tidak terbentuk gas dalam tabung durham, dihitung sebagai hasil negatif.
11. Jika terbentuk gas pada tabung durham maka tabung dinyatakan positif. Tabung yang dinyatakan positif selanjutnya akan dilakukan uji konfirmatif atau uji penegasan.

*B. Uji Konfirmatif*

Hasil positif pada uji pendugaan air baku dilanjutkan dengan uji penguat menggunakan metode MPN seri 3. Media yang digunakan adalah *Brilliant Green Lactosa Bile* (BGLB), media ini merupakan media selektif bagi *coliform,* sehingga dapat menghambat pertumbuhan bakteri lain dan meningkatkan pertumbuhan bagi *coliform*.

Prosedur uji konfirmatif adalah sebagai berikut:

1. Membuat media *Brilliant Green Lactosa Bile* (BGLB) sebanyak 90 ml.
2. Memasukkan larutan BGLB ke dalam tabung reaksi yang sudah diisi dengan tabung Durham menggunakan pipet volume sebanyak 10 ml tiap tabung.
3. Media pada tabung reaksi disterilisasi dengan *autoclave*.
4. Setelah media didinginkan, diinokulasikan sebanyak 2 ose dari tabung *Lactosa Broth* positif ke dalam media BGLB.
5. Seluruh tabung diinkubasi selama 24 jam sampai dengan 48 jam dengan suhu 35 °C.
6. Uji dinyatakan negatif jika tidak terbentuk gas pada tabung Durham dan uji dinyatakan positif jika terbentuk gas pada tabung Durham. Tabung yang dinyatakan positif selanjutnya akan dilakukan uji pelengkap.

*C. Uji Pelengkap*

Uji ini merupakan analisi akhir dari sampel air untuk mendeteksi keberadaan *coliform*. Media yang digunakan adalah *Eosin Methilen Blue* (EMB).

Prosedur uji pelengkap adalah sebagai berikut:

1. Membuat media *Eosin Methilen Blue* (EMB).
2. Media EMB yang sudah disterilisasi dituang ke dalam cawan petri.
3. Menanambiakkan dari uji konfirmatif dengan mengambil 1 ose dari biakan tabung BGLB positif menggunakan metode *streak* pada media EMB.
4. Petri yang telah ditanami kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37 °C
5. Uji pelengkap dikatakan positif jika koloni yang muncul berwarna hijau metalik.

### 3.1.3.2 Pemeriksaan Kualitatif

Pemeriksaan ini digunakan untuk mengetahui total *coliform* yang terdapat pada sampel air. Metode yang digunakan adalah *Standard Plate Count (SPC),* adapun prosedur yang digunakan sebagai berikut:

1. Menyiapkan media *Eosin Methilen Blue* (EMB).
2. Menuangkan media EMB yang telah disterilisasi ke cawan petri
3. Mengambil 1 ml sampel air yang tidak diencerkan lalu menanam dengan metode *pour plate* pada cawan petri.
4. Setelah media membeku kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37 °C.
5. Menghitung koloni yang muncul dengan menggunakan alat *colony counter.*

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebanyak 250 ml sampel air diberikan paparan gelombang ultrasonik dengan frekuensi 40 kHz, dengan variasi waktu paparan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam. Sampel air ditempatkan dalam gelas kimia, dan ditempatkan dalam wadah kaca yang telah diisi air steril, sebagai tindakan untuk mencegah kontaminasi dengan gelombang lain. Setelah 2 jam sampel air dikeluarkan dan diperiksa jumlah koloni *coliform*.

Hasil pemeriksaan *coliform* setelah diinkubasi selama 24 jam disajikan dalam Tabel 1, index MPN menunjukkan jumlah koloni *coliform*. Semakin besar nilai index MPN menunjukkan bahwa jumlah koloni coliform juga semakin banyak. Dari Tabel 1 dengan membandingkan terhadap jumlah koloni bakteri pada kontrol dapat dilihat bahwa pengurangan jumlah coliform paling sedikit ketika paparan 3 jam, sementara pada waktu 5 jam tidak terjadi perubahan jumlah koloni bakteri.

**Tabel 1**. Hasil Perlakuan Untrasonik

| Waktu Paparan (jam) | Index MPN Kontrol | Index MPN Perlakuan |
|---|---|---|
| 1 | 1898 | 1898 |
| 2 | 1898 | 271 |
| 3 | 1898 | 76 |
| 4 | 438 | 72 |
| 5 | 438 | 438 |

Perhitungan efisiensi pengurangan jumlah koloni bakteri kemudian dilakukan untuk melihat persen pengurangan koloni bakteri menggunakan persamaan

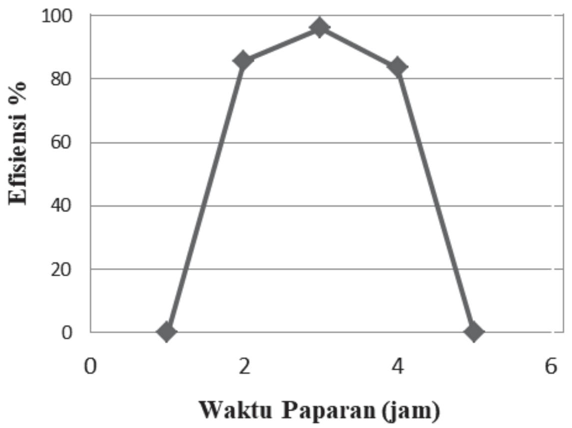

ISSN 2548-9011

$$\% \text{ Efisiensi} = \frac{MPN_{ktr} - MPN_{per}}{MPN_{ktr}} \times 100 \qquad (3)$$

dengan % efisiensi adalah persen pengurangan bakteri, MPNktr adalah index MPN kontrol, dan MPNper adalah index MPN perlakuan. Menggunakan persamaan (3), didapatkan hasil padaTabel 2 dan disajikan dalam grafik pada Gambar 3.

**Tabel 2.** Efisiensi Pengurangan Koloni Bakteri

| Waktu Paparan (jam) | Kontrol | Index MPN | Efisiensi (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 1898 | 1898 | 0 |
| 2 | 1898 | 271 | 86 |
| 3 | 1898 | 76 | 96 |
| 4 | 438 | 72 | 84 |
| 5 | 438 | 438 | 0 |




**Gambar 3.** Pengaruh Waktu Paparan terhadap Efisiensi Jumlah Koloni Bakteri.

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa efisiensi tertinggi untuk pengurangan jumlah bakteri adalah pada waktu paparan 3 jam, yaitu sebesar 96%, yang berarti bahwa setelah perlakuan 3 jam terdapat 96% bakteri telah hilang dari sampel air, ini menunjukkan bahwa gelombang ultrasonik dengan frekuensi 40 kHz dapat dimanfaatkan sebagai anti-bakteri pada air Sungai Kahayan dengan waktu paparan optimal 3 jam.

## V. SIMPULAN

Setelah perlakuan paparan gelombang ultrasonik dengan frekuensi 40 kHz dengan memvariasikan waktu paparan, didapatkan waktu efektif untuk mengurangi jumlah koloni coliform adalah 3 jam, dengan efisiensi sebesar 96%. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa gelombang ultrasonik dapat dimanfaatkan sebagai anti-bakteri *coliform*.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Tim peneliti mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai riset ini.

## PUSTAKA

1. Badan Pusat Statistik, “Status Kualitas Air Sungai, 2007 - 2016,” 2017. https://www.bps.go.id/statictable/2014/09/05/1372/status-kualitas-air-sungai--2007---2016.html, akses 27 Aug 2018.
2. N. Auajjar, B. Attarassi, N. E. Elhaloui, and A. Badoc, “Multirésistance Aux Antibiotiques De Pseudomonas Aeruginosa, p. Fluorescens et Staphylococcus Aureus et Survie Sur Divers Tissus Hospitaliers,” *Bulletin de la Société de pharmacie de Bordeaux*. 145 (2006) 61–76.
3. M. Hayet, “Modélisation par la méthode numérique de la dynamique des fluides du procédé de désinfection des eaux par les rayonnements ultraviolets (UV),” Thesis, Université Mentouri, Constantine (2017).
4. A. Ferran, “Influence de la taille de l’inoculum bactérien sur l’activité bactéricide et sur la sélection de mutants résistants lors de l’exposition d’Escherichia coli à la marbofloxacine,” Thesis, Université de Toulouse, France (2007).
5. N. Lebleu, “Désinfection des eaux par procédés membranaires : étude des mécanismes de transfert des bactéries,” Thesis, Université de Toulouse, Université Toulouse III - Paul Sabatier, France (2007).
6. B. Zhou, H. Feng, and Y. Luo, “Ultrasound Enhanced Sanitizer Efficacy in Reduction of Escherichia coli O157 : H7 Population on Spinach Leaves,” *J. Food Sci.* 74 (2009) M308–M313, doi: 10.1111/j.1750-3841.2009.01247.x.
7. E. Juraga, B. S. Šalamon, Z. Herceg, and A. R. Jambrak, “Application of High Intensity Ultrasound Treatment on Enterobacteriae Count in Milk,” *Mljekarstvo J. Dairy Prod. Process. Improv.* 61 (2011) 11.
8. D. M. Wrigley and N. G. Llorca, “Decrease of Salmonella typhimurium in Skim Milk and Egg by Heat and Ultrasonic Wave Treatment,” *J. Food Prot.* 55 (1992) 678–680, doi: 10.4315/0362-028X-55.9.678.
9. N. Puspasari, A. Surtono, and W. Warsito, “Efek Frekuensi Gelombang Ultrasonik Terhadap Mikroba Pada Air Kaldu Daging Sapi,” *J. Teori Dan Apl. Fis.* 2 (2014) 171–177, doi: 10.23960/jtaf.v2i2.1272.
10. S. Broekman, O. Pohlmann, E. S. Beardwood, and E. C. de Meulenaer, “Ultrasonic treatment for microbiological control of water systems,” *Ultrason. Sonochem.* 17 (2010) 1041–1048, doi: 10.1016/j.ultsonch.2009.11.011.
11. R. A. Al-Juboori, V. Aravinthan, and T. Yusaf, “Impact of pulsed ultrasound on bacteria reduction of natural waters,” *Ultrason. Sonochem.* 27 (2015) 137–147, doi: 10.1016/j.ultsonch.2015.05.007.
12. V. M. Gómez-López, P. R. Gogate, and P. R. Gogate, “Reconditioning of Vegetable Wash Water by Physical Methods,” *Trends in Food Safety and Protection*, 18-Sep-2017. https://www.taylorfrancis.com/, akses 29 Aug 2018.
13. K. G. Suastika, N. S. Martani, and T. J. Hartanto, “Rancang Bangun Sistem Pembangkit Gelombang Ultrasonik Sebagai Metode Alternatif Menurunkan Jumlah Bakteri E. Coli Pada Proses Penjernihan Air,” *Pros. Simp. Fis. Nas. XXVII*, Universitas Udayana, Bali vol.1, BM 109 (2015) 546–552.
14. R. A. Serway and J. W. Jewwett, *Physics for Scientist and Engineers with Modern Physics*. Cengage Learning (2013).
15. S. Gao, G. D. Lewis, M. Ashokkumar, and Y. Hemar, “Inactivation of microorganisms by low-frequency high-power ultrasound: 1. Effect of growth phase and capsule properties of the bacteria,” *Ultrason. Sonochem.* 21 (2014) 446–453, doi: 10.1016/j.ultsonch.2013.06.006.
16. Z. Herceg, A. Režek Jambrak, V. Lelas, and S. Mededovic Thagard, “The Effect of High Intensity Ultrasound Treatment on the Amount of Staphylococcus aureus and Escherichia coli in Milk,” *Food Technol. Biotechnol.* 50 (2012) 46–52.