

Original Research

Pengaruh lama paparan dan frekuensi gelombang ultrasonik terhadap jumlah koloni *Escherichia coli*

The effect of exposure length and frequency of ultrasonic waves on the number of Escherichia coli colonies

Amalia Yulianti^{1,*}, Liswara Neneng¹, Yohanes Edy Gunawan¹

¹ Program Studi Magister Pendidikan Biologi Program Pascasarjana Universitas Palangka Raya

* Korespondensi: Amalia Yulianti (Email: amaliayulianti28@gmail.com)

<https://e-journal.upr.ac.id/index.php/jem>

<https://doi.org/10.37304/jem.v2i2.2937>

Received: 15 February 2021

Revised: 20 March 2021

Accepted: 23 March 2021

Abstract

The Kahayan River is the main source of water used by PDAM Tirta Dharma for distribution to residents of Palangka Raya City. The people of Palangka Raya city who live on the banks of Kahayan river use it for their daily needs, such as fish ponds and toilets (bathing, washing, latrines) which make the Kahayan river water possibly contaminated with *Escherichia coli*. One way to control *Escherichia coli* in water is by using ultrasonic waves. Ultrasonic waves can be a method that is expected to be effective in reducing the level of *Escherichia coli* contamination, in the Kahayan river water and is applied by the relevant government, particularly the PDAM, to improve the quality of clean water sourced from the Kahayan river. This study aims to determine the effect of exposure time and ultrasonic wave frequency on the number of *Escherichia coli* colonies in the Kahayan River Water. The results showed that the effect of exposure to ultrasonic waves on the number of *Escherichia coli* bacteria colonies was measured based on OD measurements. Samples with higher ultrasonic wave frequency treatment and longer exposure time showed a decrease in the number of *Escherichia coli* bacteria colonies as indicated by the lower OD value.

Keywords

Ultrasonic, *Escherichia coli*, optical density, microbiology

Intisari

Sungai Kahayan merupakan sumber air baku yang digunakan PDAM Tirta Dharma untuk didistribusikan ke warga Kota Palangka Raya. Masyarakat Kota Palangka Raya yang tinggal di tepian sungai Kahayan memanfaatkannya untuk kebutuhan hidup sehari-hari, seperti tambak ikan dan MCK (mandi, cuci, kakus) yang membuat air sungai Kahayan kemungkinan terkontaminasi *Escherichia coli*. Salah satu cara untuk mengontrol *Escherichia coli* pada air adalah dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik dapat menjadi metode yang diharapkan efektif untuk mengurangi tingkat kontaminasi *Escherichia coli* pada air sungai Kahayan dan diterapkan oleh pemerintah terkait, khususnya PDAM untuk meningkatkan kualitas air bersih yang bersumber dari sungai Kahayan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama paparan dan frekuensi gelombang ultrasonik terhadap jumlah koloni *Escherichia coli* di air sungai Kahayan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya pengaruh paparan gelombang ultrasonik terhadap jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* yang diukur berdasarkan hasil pengukuran OD. Sampel dengan perlakuan frekuensi gelombang ultrasonik yang semakin tinggi dan lama paparan yang lebih lama menunjukkan penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* yang ditunjukkan dengan nilai OD yang semakin rendah.

Kata kunci

Ultrasonik, *Escherichia coli*, densitas optik, mikrobiologi

1. PENDAHULUAN

Sungai Kahayan merupakan sumber air baku yang digunakan oleh PDAM Tirta Dharma untuk didistribusikan ke warga Kota Palangka Raya. Masyarakat kota Palangka Raya yang tinggal di tepian sungai Kahayan memanfaatkannya untuk kebutuhan hidup sehari-hari, seperti tambak ikan dan MCK (mandi, cuci, kakus) yang membuat air sungai Kahayan kemungkinan terkontaminasi *Escherichia coli*. Adanya *Escherichia coli* pada air merupakan indikator bahwa sungai telah tercemar oleh feses dan membahayakan masyarakat yang mengkonsumsinya (Joni, 2019). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2017) air sungai Kahayan sejak tahun 2008 sudah terkategori tercemar berat.

Escherichia coli yang termasuk ke dalam golongan bakteri *coliform*, hadir di lingkungan dan kotoran pada semua hewan berdarah panas dan manusia. Berdasarkan Permenkes No. 32 tahun 2017 menyebutkan bahwa kandungan bakteri *Escherichia coli* dalam air sanitasi, yaitu 0/100 ml. Oleh sebab itu air bersih dan air minum tidak boleh melebihi persyaratan yang telah ditentukan apabila dalam air minum dan air bersih sudah tercemar bakteri *Escherichia coli* melebihi persyaratan maka akan menyebabkan penyakit diare (Kemenkes, 2017).

Salah satu cara untuk mengontrol *Escherichia coli* pada air adalah dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik adalah gelombang yang memiliki frekuensi diatas kemampuan dengar manusia, karena memiliki frekuensi tinggi, gelombang ultrasonik dapat merambat dalam medium padat, cair, dan gas (Serway & Jewett, 2013). 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 gelembung; 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. 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 (Gao et al., 2014).

Gelombang ultrasonik dapat menjadi metode yang diharapkan efektif untuk mengurangi tingkat kontaminasi *Escherichia coli* pada air sungai Kahayan dan diterapkan oleh pemerintah terkait, khususnya PDAM, untuk meningkatkan kualitas air bersih yang bersumber dari sungai Kahayan. Suastika et al. (2015) menyatakan bahwa frekuensi optimum gelombang ultrasonik untuk

membunuh bakteri *Escherichia coli* adalah 27,6 kHz. Frekuensi tersebut hanya membunuh bakteri *Escherichia coli* dengan persentase sebesar 37,8%. Hasil penelitian Handayani (2016) menunjukkan selain frekuensi, lama paparan juga mempengaruhi jumlah bakteri setelah perlakuan gelombang ultrasonik. Pada penelitian tersebut lama paparan gelombang ultrasonik yang efektif ialah 30 menit dengan frekuensi 60 kHz yang mampu menurunkan jumlah bakteri *Escherichia coli*. Maka perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi lama paparan dan besar frekuensi yang lebih tinggi untuk memperoleh hasil yang lebih baik. Kelebihan penggunaan gelombang ultrasonik sebagai antibakteri adalah berpotensi untuk membunuh bakteri yang resisten terhadap antibiotik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama paparan dan frekuensi gelombang ultrasonik terhadap jumlah koloni *Escherichia coli* pada air sungai Kahayan.

2. METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan bentuk eksperimen dan menggunakan rancangan acak lengkap (*completely randomized design*). Jumlah taraf perlakuan pada penelitian ini adalah 26 (dua puluh enam) dengan masing-masing 2 (dua) kali ulangan (Tabel 1). Pelaksanaan eksperimen dilakukan di Laboratorium Mikologi Balai Karantina Pertanian Kelas II Palangka Raya untuk analisis mikrobiologi dan Laboratorium Jurusan BDP Universitas Palangka Raya untuk analisis *optical density* (OD) selama 4 (empat) bulan pada Oktober 2020 sampai dengan Januari 2021.

2.1 Pengumpulan Data

Sampel air diambil dari sungai Kahayan dan lokasi pengambilan sampel dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* adalah air sungai Kahayan di sekitar intake PDAM Tirta Dharma pada tiga titik. Titik pengambilan sampel yakni Titik 1, Titik 2, dan Titik 3 (Gambar 1). Sumber sampel diambil dari air sungai Kahayan yang berlokasi tidak jauh dari pemukiman penduduk.

Prosedur pengambilan sampel secara rinci dijelaskan sebagai berikut:

1. Menyiapkan botol sampel yang sudah disterilisasi, *Kemmerer water sampler*, *styrofoam box*, termometer digital, dan *smartphone*.
2. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan *Kemmerer water sampler* pada kedalaman 1-2 m dari permukaan air.
3. Mengukur suhu air sungai dengan cara mencelupkan sensor termometer digital ke dalam air selama 1 menit dan mengukur suhu udara dengan melihat pada *smartphone*.
4. Setelah air sampel diambil, kemudian dimasukkan kedalam botol sampel dan diberi keterangan

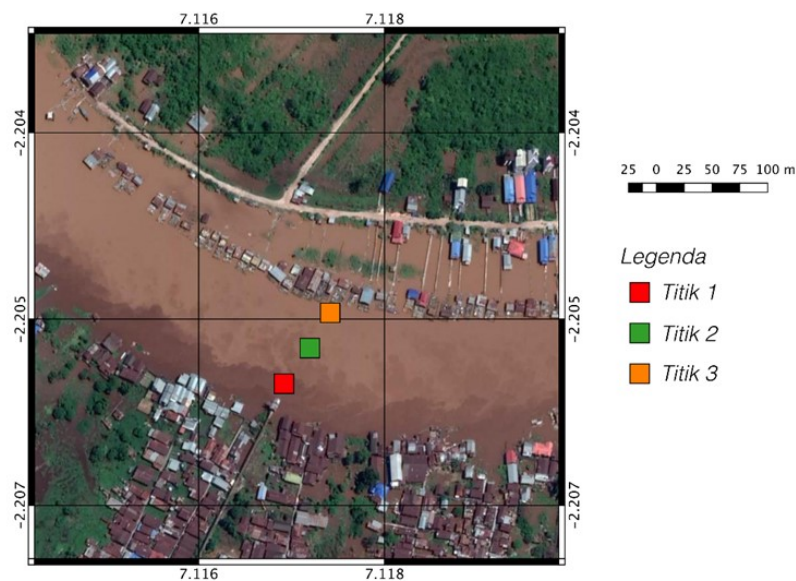
Tabel 1 Rancangan penelitian

Perlakuan	Ulangan	
	1	2
K-	(K-) ₁	(K-) ₂
K+	(K+) ₁	(K+) ₂
F ₁ x T ₁	(F ₁ x T ₁) ₁	(F ₁ x T ₁) ₂
F ₁ x T ₂	(F ₁ x T ₂) ₁	(F ₁ x T ₂) ₂
F ₁ x T ₃	(F ₁ x T ₃) ₁	(F ₁ x T ₃) ₂
F ₁ x T ₄	(F ₁ x T ₄) ₁	(F ₁ x T ₄) ₂
F ₁ x T ₅	(F ₁ x T ₅) ₁	(F ₁ x T ₅) ₂
F ₁ x T ₆	(F ₁ x T ₆) ₁	(F ₁ x T ₆) ₂
F ₂ x T ₁	(F ₂ x T ₁) ₁	(F ₂ x T ₁) ₂
F ₂ x T ₂	(F ₂ x T ₂) ₁	(F ₂ x T ₂) ₂
F ₂ x T ₃	(F ₂ x T ₃) ₁	(F ₂ x T ₃) ₂
F ₂ x T ₄	(F ₂ x T ₄) ₁	(F ₂ x T ₄) ₂
F ₂ x T ₅	(F ₂ x T ₅) ₁	(F ₂ x T ₅) ₂
F ₂ x T ₆	(F ₂ x T ₆) ₁	(F ₂ x T ₆) ₂
F ₃ x T ₁	(F ₃ x T ₁) ₁	(F ₃ x T ₁) ₂
F ₃ x T ₂	(F ₃ x T ₂) ₁	(F ₃ x T ₂) ₂
F ₃ x T ₃	(F ₃ x T ₃) ₁	(F ₃ x T ₃) ₂
F ₃ x T ₄	(F ₃ x T ₄) ₁	(F ₃ x T ₄) ₂
F ₃ x T ₅	(F ₃ x T ₅) ₁	(F ₃ x T ₅) ₂
F ₃ x T ₆	(F ₃ x T ₆) ₁	(F ₃ x T ₆) ₂
F ₄ x T ₁	(F ₄ x T ₁) ₁	(F ₄ x T ₁) ₂
F ₄ x T ₂	(F ₄ x T ₂) ₁	(F ₄ x T ₂) ₂
F ₄ x T ₃	(F ₄ x T ₃) ₁	(F ₄ x T ₃) ₂
F ₄ x T ₄	(F ₄ x T ₄) ₁	(F ₄ x T ₄) ₂
F ₄ x T ₅	(F ₄ x T ₅) ₁	(F ₄ x T ₅) ₂
F ₄ x T ₆	(F ₄ x T ₆) ₁	(F ₄ x T ₆) ₂

Keterangan

K- : Larutan Garam Fisiologis + Escherichia coli

K+ : Larutan Garam Fisiologis

F₁ : Gelombang ultrasonik dengan frekuensi 30 kHzF₂ : Gelombang ultrasonik dengan frekuensi 40 kHzF₃ : Gelombang ultrasonik dengan frekuensi 50 kHzF₄ : Gelombang ultrasonik dengan frekuensi 60 kHzT₁ : Gelombang ultrasonik dengan lama paparan 5 menitT₂ : Gelombang ultrasonik dengan lama paparan 10 menitT₃ : Gelombang ultrasonik dengan lama paparan 15 menitT₄ : Gelombang ultrasonik dengan lama paparan 20 menitT₅ : Gelombang ultrasonik dengan lama paparan 25 menitT₆ : Gelombang ultrasonik dengan lama paparan 30 menit

Gambar 1 Lokasi pengambilan sampel (Sumber peta: Google Satellite, QGis)

menggunakan label (nomor kode lokasi, hari/tanggal, jam, dan temperatur air/udara).

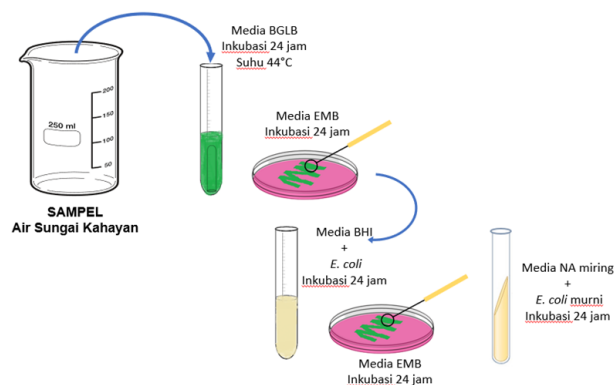
- Selanjutnya meletakkan botol berisi air sampel dalam styrofoam box.

2.2 Prosedur Penelitian

• Isolasi Bakteri *Escherichia coli*

Isolasi bakteri *Escherichia coli* dari sampel air Sungai Kahayan membutuhkan beberapa macam media, di antaranya adalah BGLB (*brilliant green lactose bile*) broth, BHI (*brain heart infusion*) broth, EMB (*eosin methylene blue*) agar, dan NA (*nutrient agar*). Prosedur isolasi bakteri *Escherichia coli* secara rinci disajikan pada Gambar 2 dan dijelaskan sebagai berikut:

- Menyiapkan sampel air sungai, lampu spiritus, korek api, pipet ukur 10 ml, gelas ukur 250 ml, dan *Beaker glass* 250 ml.
- Memasukkan air sampel 100 ml kedalam gelas ukur, kemudian memindahkan kedalam *Beaker glass*.
- Air sampel diambil 10 ml dengan menggunakan pipet ukur dan dimasukkan kedalam media BGLB steril, diinkubasi pada suhu 44°C selama 24 jam.
- Kemudian setelah 24 jam, isolat pada media BGLB diinokulasi pada media padat EMB dengan metode *streak* menggunakan jarum Ose dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam.
- Setelah 24 jam, isolat pada media EMB diinokulasi kembali pada media cair BHI yang bertujuan menyuburkan isolat dengan cara mengambil koloni *Escherichia coli* yang berwarna hijau metalik menggunakan Jarum Ose, kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam.
- Isolat pada media BHI yang telah subur diinokulasi kembali pada media EMB dengan tujuan untuk memperoleh isolat *Escherichia coli* murni dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam.
- Isolat *Escherichia coli* yang sudah murni disuburkan kembali pada media NA miring dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam.
- Setelah isolat *Escherichia coli* subur, disimpan didalam lemari pendingin.



Gambar 2 Prosedur isolasi bakteri *Escherichia coli*

- Mengulangi langkah 1-8 pada sampel yang lain.

Pada tahap ini juga dilakukan pewarnaan Gram untuk memastikan bahwa sampel bakteri yang diisolasi merupakan bakteri *Escherichia coli* yang termasuk ke dalam golongan bakteri Gram negatif (Gambar 3).

• Pembuatan Suspensi Bakteri *Escherichia coli*

Sampel bakteri yang sudah diisolasi, kemudian dipersiapkan untuk pembuatan suspensi. Kekeruhan suspensi disesuaikan dengan larutan MacFarland 0,5. Prosedur pembuatan suspensi secara rinci disajikan pada Gambar 4.

• Pemberian Perlakuan

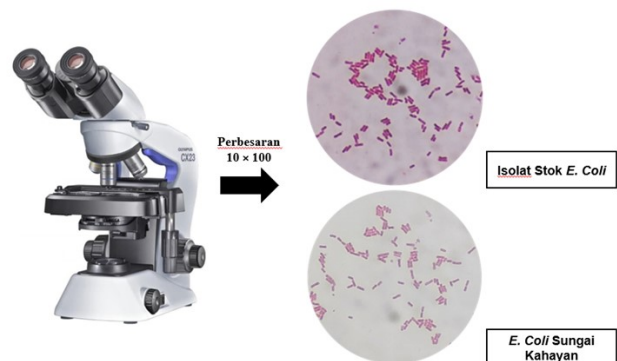
Pemberian perlakuan paparan gelombang ultrasonik dilakukan menggunakan alat *Signal Transducer ATFx*, dan *Speaker Tweeter Piezo*. Suspensi bakteri sebanyak 100 ml diletakkan di bawah speaker *Tweeter Piezo* dengan jarak 5 cm, kemudian diberikan paparan gelombang ultrasonik dengan lama paparan dan besar frekuensi sesuai dengan setiap taraf perlakuan. Skema rangkaian alat untuk perlakuan gelombang ultrasonik disajikan pada Gambar 5.

• Pengukuran *Optical Density*

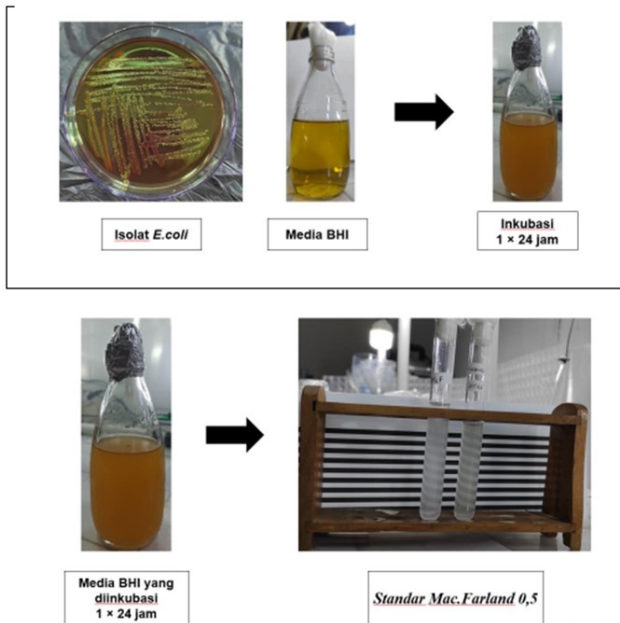
Sampel yang sudah diberi perlakuan kemudian dilakukan pengenceran berseri (*serial dilution*) sampai pengenceran 10^{-4} . Hasil pengenceran kemudian dipersiapkan ke dalam Kuvet untuk pengukuran *optical density* (OD) menggunakan alat spektrofotometer dengan panjang gelombang 600 nm. Nilai OD merupakan representasi dari jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* pada penelitian ini.

2.3 Analisis Data

Data hasil penelitian dianalisis secara statistik dengan rumus *Friedman's two way ANOVA* pada taraf signifikansi 5% menggunakan program SPSS 23. *Friedman's two way ANOVA* merupakan uji statistik non-parametrik yang digunakan karena data hasil penelitian diketahui tidak berdistribusi normal berdasarkan hasil uji normalitas *Kolmogorov-Smirnov*.



Gambar 3 Hasil pewarnaan Gram pada sampel



Gambar 4 Prosedur pembuatan suspensi bakteri *Escherichia coli*

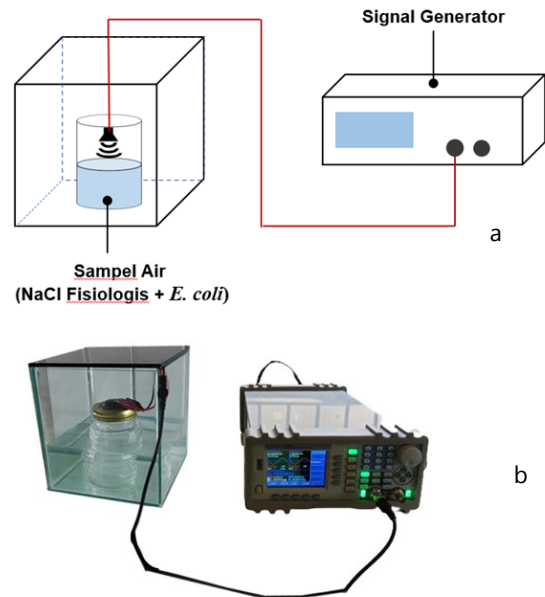
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat kekeruhan (*optical density*) adalah metode yang digunakan untuk menghitung jumlah bakteri *Escherichia coli* yang terbaca melalui nilai absorbansi yang dihasilkan. Panjang gelombang yang digunakan untuk mengukur OD adalah 600 nm. Hasil pengukuran *optical density* pada setiap unit perlakuan secara rinci disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa lama perlakuan waktu dengan frekuensi gelombang ultrasonik yang tinggi dapat menurunkan jumlah bakteri *Escherichia coli*. Rata-rata nilai OD blanko adalah 0.0000. Jumlah rata-rata nilai OD suspensi setiap unit perlakuan sebelum diberikan perlakuan gelombang ultrasonik secara berturut-turut adalah 0.0100 (T1), 0.0160 (T2), dan 0.0110 (T3), kemudian setelah diberi perlakuan gelombang ultrasonik dengan frekuensi 60 kHz selama 5 menit, jumlah rata-rata nilai OD secara berturut-turut adalah 0.0050 (T1), 0.0100 (T2), dan 0.0045 (T3). Nilai OD menurun ketika durasi paparan gelombang ultrasonik ditambahkan 30 menit dengan frekuensi 60 kHz, jumlah rata-rata nilai OD secara berturut-turut adalah 0.0005 (T1), 0.0010 (T2), dan 0.0005 (T3).

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa adanya hubungan antara lama perlakuan waktu dengan frekuensi gelombang ultrasonik terhadap penurunan jumlah nilai OD suspensi bakteri *Escherichia coli*. Data jumlah rata-rata nilai OD pada setiap unit perlakuan disajikan dalam bentuk diagram pada Gambar 6.

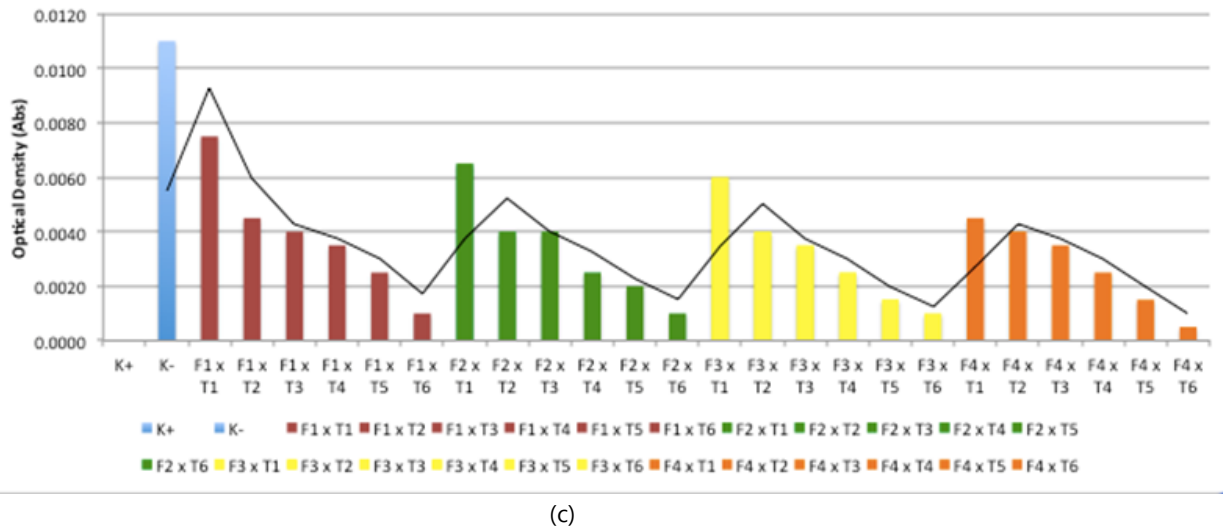
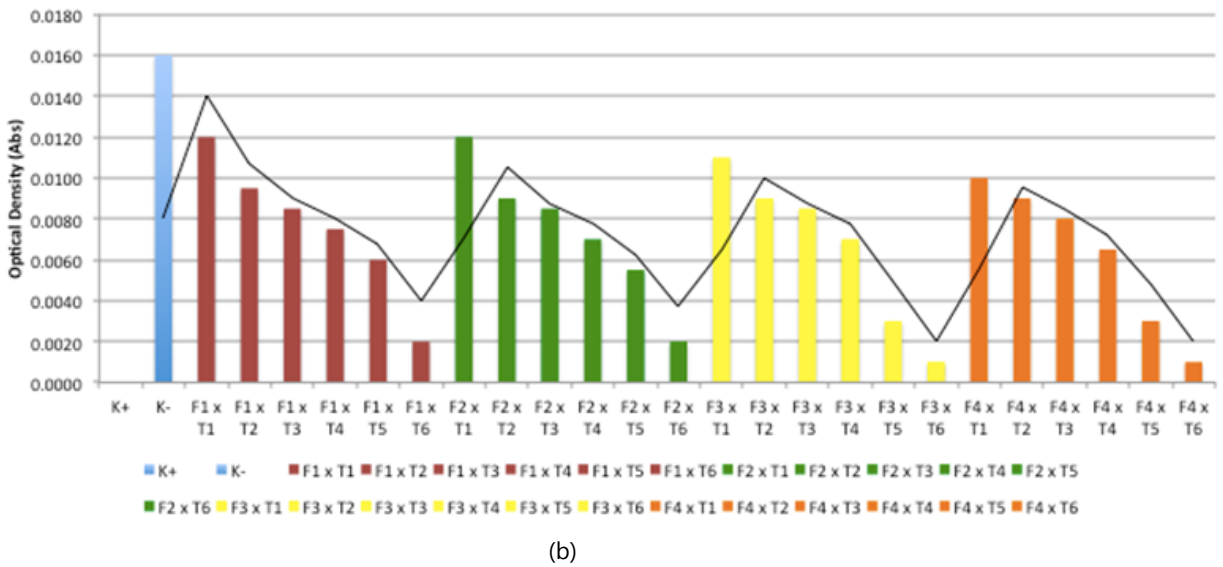
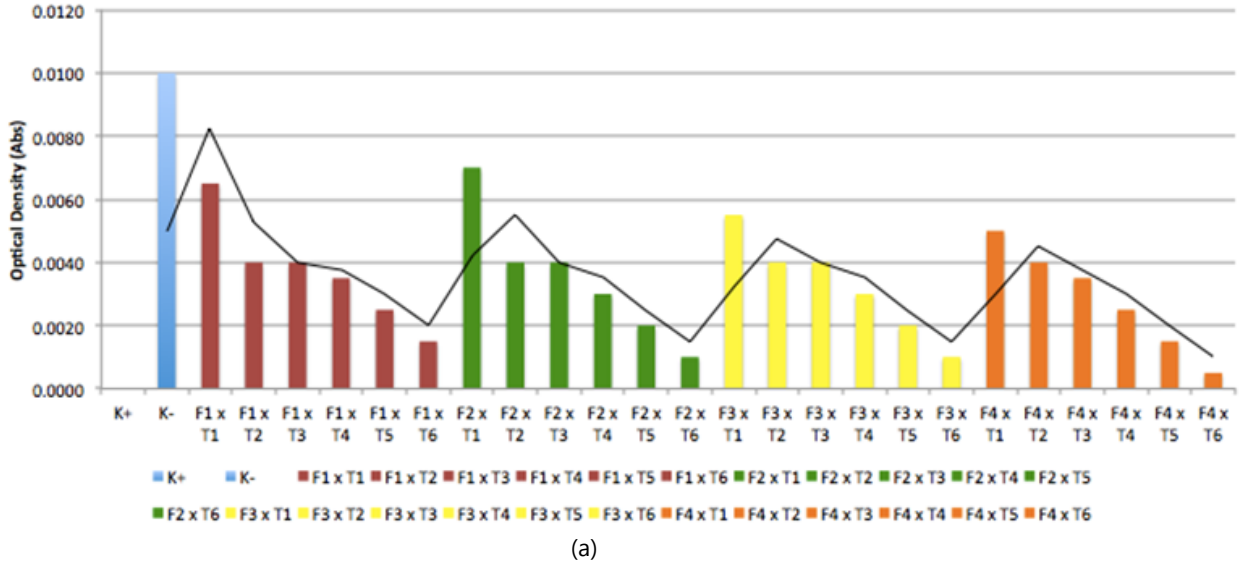
Hasil analisis uji hipotesis dengan rumus *Friedman's two way ANOVA* menunjukkan nilai *p-value* pada setiap kelompok data (T1, T2, T3) sebesar 0,000 yang lebih kecil dari 0,05. Hal ini berarti adanya pengaruh dari lama paparan dan frekuensi gelombang ultrasonik terhadap jumlah koloni *Escherichia coli*.



Gambar 5 Skema rangkaian alat perlakuan gelombang ultrasonik: (a) skema, (b) foto asli

Tabel 2 Hasil pengukuran *optical density* setiap unit perlakuan pada panjang gelombang 600 nm

Perlakuan	Rerata OD		
	T1	T2	T3
K-	0.0000	0.0000	0.0000
K+	0.0100	0.060	0.0110
F1 x T1	0.0065	0.0120	0.0075
F1 x T2	0.0040	0.0095	0.0045
F1 x T3	0.0040	0.0085	0.0040
F1 x T4	0.0035	0.0075	0.0035
F1 x T5	0.0025	0.0060	0.0025
F1 x T6	0.0015	0.0020	0.0010
F2 x T1	0.0070	0.0120	0.0065
F2 x T2	0.0040	0.0090	0.0040
F2 x T3	0.0040	0.0085	0.0040
F2 x T4	0.0030	0.0070	0.0025
F2 x T5	0.0020	0.0055	0.0020
F2 x T6	0.0010	0.0020	0.0010
F3 x T1	0.0055	0.0110	0.0060
F3 x T2	0.0040	0.0090	0.0040
F3 x T3	0.0040	0.0085	0.0035
F3 x T4	0.0030	0.0070	0.0025
F3 x T5	0.0020	0.0030	0.0015
F3 x T6	0.0010	0.0010	0.0010
F4 x T1	0.0050	0.0100	0.0045
F4 x T2	0.0040	0.0090	0.0040
F4 x T3	0.0035	0.0080	0.0035
F4 x T4	0.0025	0.0065	0.0025
F4 x T5	0.0015	0.0030	0.0015
F4 x T6	0.0005	0.0010	0.0005



Gambar 6 Diagram data *optical density* pada setiap unit perlakuan. (a) Titik 1, (b) Titik 2, (c) Titik 3

Tabel 3 Hasil analisis *Friedman's two way ANOVA*

Titik	R ²	k	n	Q	df	p-value	alpha	Ket.
T1	23958,50	26	2	203,39	25	0,000	0,05	Signifikan
T2	24613,50	26	2	208,99	25	0,000	0,05	Signifikan
T3	24196,50	26	2	205,42	25	0,000	0,05	Signifikan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya pengaruh paparan gelombang ultrasonik terhadap jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* yang diukur berdasarkan pengukuran OD. Sampel dengan perlakuan frekuensi gelombang ultrasonik yang semakin tinggi dan lama paparan yang lebih lama menunjukkan adanya penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* yang ditunjukkan dengan nilai OD yang semakin rendah. Hasil penelitian LaLiberte & Haber (2014) menunjukkan bahwa gelombang ultrasonik berpotensi sebagai antibakteri dan digunakan sebagai kontrol mikroba dalam treatment air. Gelombang ultrasonik memiliki efek fisik berupa kavitasasi mengnonaktifkan (inaktivasi) dan melisis sel bakteri (Broekman et al., 2010; Drakopoulou et al., 2009). Duckhouse et al. (2004) juga menyebutkan bahwa jumlah sel bakteri yang mengalami inaktivasi meningkat seiring dengan peningkatan lama paparan gelombang ultrasonik. Maleki et al. (2013) menjelaskan bahwa gelombang ultrasonik dapat mengalami peningkatan efektivitas membunuh bakteri dengan durasi paparan yang lebih lama. Pendapat Duckhouse et al. (2004) dan Maleki et al. (2013) sejalan dengan hasil penelitian ini dimana pada lama paparan 30 menit menunjukkan nilai OD yang paling rendah dibandingkan dengan lama paparan yang lebih pendek. Frekuensi gelombang ultrasonik sebesar 60 kHz dengan lama paparan 30 menit menunjukkan adanya penurunan OD paling signifikan dari nilai OD suspensi.

4. KESIMPULAN

Paparan gelombang ultrasonik berpengaruh signifikan terhadap jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* yang diukur berdasarkan pengukuran OD. Sampel dengan perlakuan frekuensi gelombang ultrasonik yang semakin tinggi dan lama paparan yang lebih lama menunjukkan adanya penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* yang ditunjukkan dengan nilai OD yang semakin rendah. Frekuensi gelombang ultrasonik sebesar 60 kHz dengan lama paparan 30 menit menunjukkan adanya penurunan OD paling signifikan dari nilai OD suspensi.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik. (2017). Status Kualitas Air Sungai 2017-2016. Retrieved August 20, 2019, from <https://>

- www.bps.go.id/statictable/2014/09/05/1372/status-kualitas-air-sungai--2007---2016.html
- Broekman, S., Pohlmann, O., Beardwood, E. ., & Cordemans de Meulenaer, E. (2010). Ultrasonic Treatment for Microbiological Control of Water Systems. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17(1), 41–48.
- Drakopoulou, S., Terzaki, S., Fountoulakis, M., Mantzavinos, D., & Manios, T. (2009). Ultrasound-Induced Inactivation of Gram-Negative and Gram-Positive Bacteria in Secondary Treated Municipal Wastewater. *Ultrasonics Sonochemistry*, 16, 629–634.
- Duckhouse, H., Mason, T. J., Phull, S. S., & Lorimer, J. P. (2004). The effect of sonication on microbial disinfection using hypochlorite. *Ultrason Sonochem*, 11, 173–176.
- Gao, S., Lewis, G. ., Ashokkumar, M., & Hemar, Y. (2014). Inactivation of Microorganisms by Low-Frequency High -Power Ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(1), 446–453.
- Handayani, A. (2016). *Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik Untuk Menghambat Pertumbuhan Bakteri Escherichia coli dan Kadar Protein pada Susu Sapi Segar*. Skripsi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Joni. (2019). PDAM Palangka Raya Terus Tingkatkan Kualitas Air. Retrieved May 13, 2019, from Rabu, Tanggal 09-10-2019, jam 20:17:52 website: https://kaltengpos.co/berita/-33216-pdam_palangka_raya_terus_tingkatkan_kualitas_air.html
- Kemenkes. *Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum*. , Pub. L. No. 32 TAHUN 2017 (2017).
- LaLiberte, G., & Haber, E. (2014). *Literature Review of the Effects of Ultrasonic Waves on Cyanobacteria, Other Aquatic Organisms, and Water Quality*. Wisconsin Department of Natural Resource. Research Report.
- Maleki, A., Shahmoradi, B., Daraei, H., & Kalantar, E. (2013). Assessment of ultrasound irradiation on inactivation of gram negative and positive bacteria isolated from hospital in aqueous solution. *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 1(1), 9–14.
- Serway, R. ., & Jewett, J. (2013). *Physics for Scientist and Engineers with Modern Physics*. Cengage Learning.
- Suastika, K. ., Martani, N. ., & Hartanto, T. . (2015). Rancang Bangun Sistem Pembangkit Gelombang Ultrasonik sebagai Metode Alternatif Menurunkan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* pada Proses Penjernihan Air. *Prosiding Simposium Fisika Nasional XXVII*, 1, 546–552.