

PENGARUH DOSIS PAPARAN GELOMBANG ULTRASONIK TERHADAP KEMATIAN BAKTERI E. COLI

Mas Mansyur

Dosen Fakultas Kedokteran Universitas Wijaya Kusuma Surabaya

ABSTRAK

Ultrasonik adalah gelombang bunyi yang mempunyai frekuensi lebih besar dari 20.000 Hz. Dalam penjalarnya memindahkan energi dan momentum, gelombang ini juga mengalami pelemahan, pemantulan, hamburan dan penyerapan sehingga intensitasnya berkurang. Disamping sifat ini juga mempunyai sifat menghasilkan panas, gaya ultrasonik steady force, cavity, and bigger stress mechanic. Bakteri E. Coli adalah sel tunggal yang mempunyai dinding sel yang tipis dan elastisitasnya yang besar dan dindingnya akan mengalami peregangan yang besar dan jika batas elastisitasnya terlampaui akan sobek dan bakteri E. Coli pun mati. Dari hasil penelitian yang saya lakukan dibagian Mikrobiologi Fakultas Kedokteran Universitas Wijaya Kusuma Surabaya diperoleh hasil, gelombang ultrasonik dihasilkan oleh function generator yang berdaya 0,42 watt, frekuensi optimum yang dapat membunuh bakteri E. Coli 1,05 Hz (Mansyur, 2010), Dosis paparan gelombang ultrasonik yang dapat membunuh bakteri E. Coli sebesar 100% adalah $6,286 \times 10^{-3}$ Kwh/liter dalam waktu 15,70 menit. Dengan koefisien korelasi sebesar 0,9946.

Kata Kunci : Dosis paparan, persen kematian, mikroorganisme, metode alternative

THE EFFECT OF EXPOSURE DOSE ULTRASONIC WAVE ON DEATH E. COLI BACTERIA

Mas Mansyur

Lecturer Faculty of Medicine, University of Wijaya Kusuma Surabaya

ABSTRACT

Ultrasonik wave is acoustic wave that have frequency more than 20.000 Hz. On its transmission energy and momentum. This wave also experience attenuation, reflection, scattering, and absorption so that decreases its intensity. Beside this characteristic also have special characteristic that make heat, ultrasonic steady force, cavity, and bigger stress mechanic. Bacteria is single cell organism that formed by nucleus substance, cytoplasm and cell wall. In. If the E. Coli bacteria in the ultrasonic field, the bacteria will experience bigger stress mechanic and its wall obtain the big stretching and if more than elasticity its wall, will broken and the E. Coli bacteria is die. From the result of that research which I do in a part of Microbiology Faculty of Medicine Wijaya Kusuma University Surabaya are, The ultrasonic wave produced by function generator with power is 0.42 watt. Optional frequency that can kill E. Coli bacteria is 1.05 MHz, (Mansyur, 2010), Exposure dose ultrasonic that can kill the bacteria in 100 % is 6,286 kwh / liter in 15.70 minute with correlation coefficient 0.9946.

Key Word : Exposure dose, percent of death, microorganism, alternative methods

PENDAHULUAN

Menurut Suriawiria, U (2003) Setiap hari, secara normal, manusia menghasilkan antara 100-150 gram berat kering feses atau tinja. Ternyata dari sekian jumlah tersebut akan didapatkan antara $2,5 \times 100.000.000.000$ sampai $3,6 \times 100.000.00.000$ sel bakteri yang termasuk bakteri *koliform*. Bakteri ini merupakan penghuni tubuh manusia bagian dalam dan hewan berdarah panas lainnya yang cukup unik. Artinya, walaupun kehadirannya di dalam usus atau lambung manusia itu normal, tetapi dalam batas-batas keadaan dan lingkungan tertentu ternyata dapat mendatangkan penyakit atau minimal gangguan terhadap pemilikinya.

Kecepatan tumbuh bakteri ini cukup meyakinkan, kalau persyaratan

lingkungan memadai. Jika pukul 07.00 kita memiliki 1 batang bakteri ini kemudian ditumbuhkan ke dalam media yang tepat baginya, pada pukul 17.00 sore jumlah tersebut akan menjadi 1.048.576 sel. Jadi hanya di dalam kurun waktu 10 jam jumlahnya akan berlipat ganda sangat cepat dan sangat tinggi. Hal ini disebabkan bakteri dapat memperbanyak diri secara pembelahan sel, yaitu dari 1 menjadi 2, 2 menjadi 4, 4 menjadi 8, 8 menjadi 16, 16 menjadi 32, dan seterusnya di dalam kurun waktu yang relatif singkat (Tortora, Gerorrd, J, 2007).

Berdasarkan rangkaian keterangan di atas, jadilah bakteri koliform sebagai nilai penentu kualitas suatu bahan atau benda terhadap ada tidaknya pencemaran fekal. Penentuan kualitas suatu bahan,

khususnya air minum, bahan makanan, obat-obatan, tidak saja dilakukan secara fisik dan kimia, tetapi juga secara biologis atau secara bakteriologis (Saruji, Didik, 2006).

Bila gelombang ultrasonik merambat di dalam air, saat terjadi kompresi jarak molekul – molekul air menjadi lebih pendek dari keadaan normal, pada saat terjadi ekspansi jarak molekul – molekul air menjadi lebih besar, untuk di perlukan energi dan energi diambil dari gelombang ultrasonik yang merambat di dalam air.

Selain itu, gelombang ultrasonik yang intensif diberikan di dalam air dapat menimbulkan beberapa perubahan sifat fisik seperti perubahan suhu air, gaya ultrasonik stedy dan efek mematikan yang disebabkan oleh peristiwa kavitasi, dan radikal – radikal itu bereaksi yang menghasilkan H_2O_2 . Dengan demikian di dalam air akan terdapat banyak H_2O_2 yang berfungsi sebagai desinfektan (Ackerman, 1989).

Keuntungan penggunaan gelombang ultrasonik untuk membunuh bakteri adalah :

1. Ramah lingkungan
2. Dapat membunuh bakteri secara mekanik dan kavitasi yang ditimbulkan oleh gelombang ultrasonik (Maskunah, 1988; Widodo, Asnar, 1990)
3. Bersifat desinfektan karena gelombang ultrasonik di dalam air dapat membentuk H_2O_2 . (Crokneil, AP, 1980).

Bakteri E. Coli digunakan sebagai obyek penelitian karena :

1. Digunakan sebagai indikator pencemaran air oleh kotoran manusia atau Hewan (Fardiaz, S, 1992).
2. Merupakan bakteri pathogen yang dapat menimbulkan penyakit pada Manusia (Pelezar, M, 1988).
3. Merupakan bakteri yang paling sering ditemukan jika terjadi pencemaran Air (Fardiaz, S, 1992)

Perumusan Masalah

Dari latar belakang masalah di atas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Berapa dosis paparan gelombang ultrasonik yang dapat membunuh bakteri E. Coli ?
2. Berapa koefisien korelasi pengaruh dosis paparan gelombang ultrasonik terhadap persen kematian bakteri E. Coli.

Tujuan Penelitian

a. Tujuan umum

Mendayagunakan gelombang ultrasonik sebagai metode alternatif membunuh bakteri E. Coli

b. Tujuan khusus

1. Menemukan dosis paparan gelombang ultrasonik untuk membunuh bakteri E. Coli.

2. Menemukan koefisien korelasi antara dosis paparan gelombang ultrasonik dengan

persen kematian bakteri E. Coli

BAHAN DAN METODE

Bahan dan alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bakteri E. Coli, Nutrient Agar Broth, aquadestilasi, EMB agar, alkohol 70 %, kantong plastik, kapas. Sedangkan alat yang digunakan adalah signal generator, osiloskop, transduser ultrasonic, incubator, laminar flow with U V lamp, autoclave, cawan petri, tabung reaksi, gelas beker, O S E, Quebec colony counter dan lup, pembakar bunsen.

Variabel penelitian

Melalui penelitian ini peneliti mendayagunakan gelombang ultrasonik sebagai metode alternatif untuk membunuh bakteri E. Coli. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Variabel bebas : dosis paparan gelombang ultrasonik.

- Variabel terikat : persen kematian bakteri E. Coli

a. Menemukan Waktu Paparan Gelombang Ultrasonik Terhadap Persen Kematian Bakteri E. Coli.

Untuk menemukan energi paparan gelombang ultrasonik terhadap persen kematian bakteri E. Coli, dilakukan percobaan dengan data sebagai berikut :

- Frekuensi = 1,05 MHz
 - Daya = 0,42 watt
 - Volume = 20 ml
 - Waktu = 1 menit, 2 menit, 3 menit, 4 menit, 5 menit
- Hasil pengamatan dari percobaan tersebut ditunjukkan pada tabel 1

Tabel 1. Hasil pengamatan waktu paparan gelombang ultrasonik terhadap persen kematian bakteri E. Coli.

| No | Waktu (menit) | Jumlah E. Coli Kontrol | | | | Jumlah E. Coli Terpapar | | | | % Kematian |
|----|---------------|------------------------|-----|-----|-------------|-------------------------|----|-----|-------------|------------|
| | | I | II | III | \bar{X}_1 | I | II | III | \bar{X}_2 | |
| 1 | 1 | 100 | 98 | 103 | 101 | 66 | 65 | 79 | 70 | 30,69 |
| 2 | 2 | 93 | 169 | 110 | 124 | 100 | 75 | 68 | 81 | 34,68 |
| 3 | 3 | 105 | 111 | 96 | 104 | 41 | 89 | 59 | 63 | 39,42 |
| 4 | 4 | 110 | 123 | 97 | 110 | 53 | 67 | 63 | 61 | 44,55 |
| 5 | 5 | 132 | 110 | 103 | 115 | 51 | 49 | 74 | 58 | 49,57 |

Untuk memberi gambaran yang lebih jelas hubungan energi paparan gelombang ultrasonik dengan persen kematian bakteri E. Coli, data dari tabel 1. akan disajikan pada Tabel 2 Energi paparan gelombang

ultrasonik didefinisikan dengan $E = p \cdot t$ dan $p =$ daya paparan gelombang ultrasonik, bersatuan watt dan $t =$ waktu paparan gelombang ultrasonik, bersatuan detik.

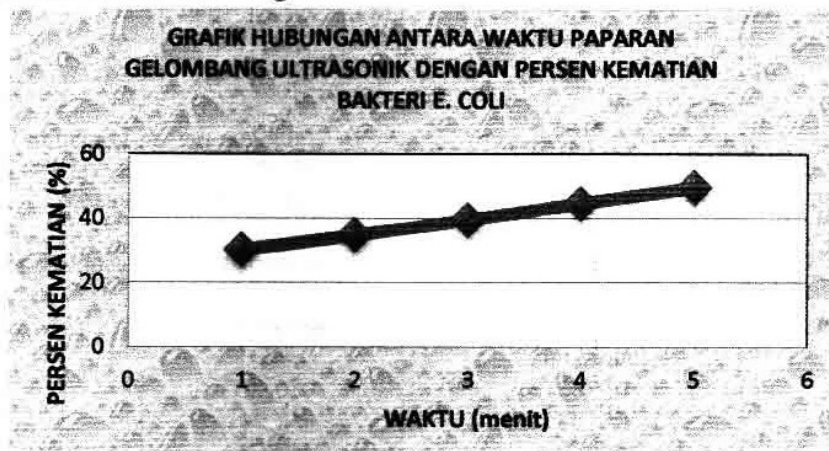
Tabel 2. Hasil pengamatan waktu dan energi paparan gelombang ultrasonik persen kematian bakteri E. Coli.

| No | Waktu (menit) | Energi (joule) | Persen kematian (%) |
|----|---------------|----------------|---------------------|
| 1 | 1 | 25,2 | 30,69 |
| 2 | 2 | 50,4 | 34,68 |
| 3 | 3 | 75,6 | 39,42 |
| 4 | 4 | 100,8 | 44,55 |
| 5 | 5 | 126,0 | 49,57 |

Analisis Data

Untuk memperjelas hubungan antara kedua variabel di atas (waktu dan persen kematian) dinyatakan dalam bentuk grafik

yang digambar dan dihitung dengan menggunakan program Excell, yang tampak pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Grafik hubungan antara waktu paparan gelombang ultrasonik dengan persen kematian bakteri E. Coli

Dengan metode regresi linier, dari Gambar 1. dapat ditentukan Persamaan garis hubungan antara waktu (t) dengan persen kematian (K), yaitu : $K = 4,764t + 25,493$

- Koefisien korelasi $r = 0,9989$
- Koefisien determinasi $R^2 = 0,5133$
- Hasil tersebut menunjukkan adanya hubungan linier yang meyakinkan antara kedua variabel tersebut, meskipun sebenarnya bervariasi. Dari persamaan di atas terlihat bahwa semakin besar waktu paparannya semakin besar pula persen kematian bakteri E. Coli.
- Dari persamaan regresina, dapat ditentukan secara teoritis bahwa kematian sebesar 100% terjadi pada waktu paparan 15,70 menit + atau 15 menit 42 detik. Jika energi sama dengan daya dikalikan waktu paparan, maka waktu paparan sebesar 15 menit 42 detik setara dengan energi sebesar 395,64 joule (daya gelombang ultrasonik 0,42 watt).

Secara teoritis, energi yang dapat membunuh bakteri E. Coli 100% akan digunakan untuk percobaan selanjutnya, yaitu

menentukan hubungan antara dosis paparan gelombang ultrasonik dengan persen kematian bakteri E. Coli. Energi gelombang ultrasonik dibuat konstan (395,64 joule) sedangkan volume suspensi bakteri E. Coli divariasikan yaitu 20ml, 30 ml, 40 ml, 50 ml dan 60 ml.

b. Menemukan Dosis Paparan Gelombang Ultrasonik Dengan Persen Kematian Bakteri E. Coli

Untuk menemukan hubungan antara dosis (energi persatuan volume) paparan gelombang ultrasonik, dilakukan percobaan dengan data sebagai berikut :

- Frekuensi = 1,05 MHz
- Daya = 0,42 Watt
- Waktu = 15,70 menit
- Volume = 20 ml, 30 ml, 40 ml, 50 ml dan 60 ml

Hasil pengamatan percobaan ini ditunjukkan pada tabel 3. di bawah ini.

Tabel 3. Hasil pengamatan variasi volume suspensi bakteri E. Coli yang dipapari gelombang ultrasonik dengan persen kematian bakteri E. Coli.

| No | Volume (ml) | Jumlah E. Coli Kontrol | | | | Jumlah E. Coli Perlakuan | | | | % Kematian |
|----|-------------|------------------------|-----|-----|-------------|--------------------------|----|-----|-------------|------------|
| | | I | II | III | \bar{X}_1 | I | II | III | \bar{X}_2 | |
| 1 | 20 | 113 | 93 | 104 | 110 | 19 | 23 | 21 | 21 | 80,91 |
| 2 | 30 | 111 | 97 | 98 | 102 | 61 | 51 | 32 | 32 | 52,94 |
| 3 | 40 | 103 | 139 | 112 | 118 | 67 | 64 | 79 | 79 | 40,68 |
| 4 | 50 | 99 | 104 | 91 | 98 | 71 | 68 | 59 | 59 | 32,65 |
| 5 | 60 | 57 | 61 | 92 | 70 | 21 | 97 | 32 | 32 | 28,57 |

Untuk memberikan gambaran yang jelas hubungan antara dosis paparan gelombang ultrasonik

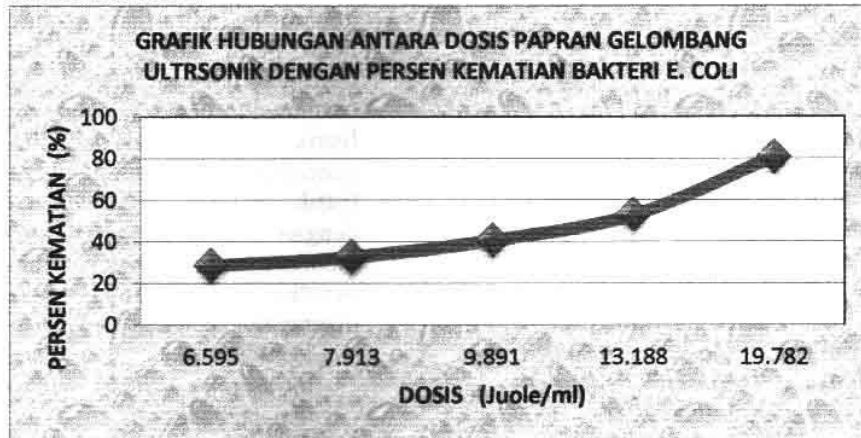
dengan persen kematian bakteri E. Coli data dari tabel 3 akan disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengamatan dosis paparan gelombang ultrasonik terhadap persen kematian bakteri E. Coli.

| No | Dosis (D) (joule / ml) | Persen kematian (%) |
|----|------------------------|---------------------|
| 1 | 19,782 | 80,91 |
| 2 | 13,188 | 52,94 |
| 3 | 9,891 | 40,68 |
| 4 | 7,913 | 32,65 |
| 5 | 6,594 | 28,57 |

Analisis Data

Untuk memperjelas hubungan antara kedua variabel diatas dinyatakan dalam bentuk Gambar 2



Gambar 2. Grafik hubungan antara dosis paparan gelombang ultrasonik dengan persen kematian bakteri E. Coli.

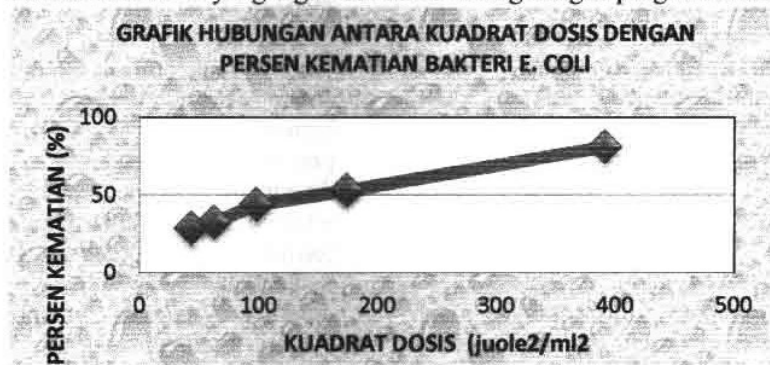
Berdasarkan Gambar 2. persamaan garisnya adalah $K = aD^2 + b$ dengan K adalah persen kematian dan D adalah dosis paparan gelombang ultrasonik. Untuk mencari koefisien korelasi r, koefisien determinasi R^2 grafik

di atas perlu diubah dalam bentuk regresi linier yang menghubungkan antara persen kematian (K) dengan dosis paparan gelombang ultrasonik kuadrat (D^2).

Tabel 5. Hubungan antara persen kematian bakteri E. Coli (K) dengan dosis paparan gelombang ultrasonik kuadrat (D^2)

| No | D^2 (joule ² / ml ²) | K (%) |
|----|--|----------|
| 1 | 391,328 | 80,91 |
| 2 | 173,923 | 52,94 |
| 3 | 97,832 | 43,68 |
| 4 | 62,616 | 32,65 |
| 5 | 43,481 | 28,57 |

Untuk memperjelas hubungan antara kedua variabel diatas dinyatakan dalam bentuk Gambar 3 yang digambar dan dihitung dengan program Excell.



Gambar 3. Grafik hubungan antara kuadrat dosis paparan gelombang ultrasonik dengan persen kematian bakteri E. Coli.

Dari data dan grafik diatas dapat ditentukan :

- Koefisien korelasi $r = 0,9946$
- Koefisien determinasi $R^2 = 0,5358$
- Persamaan linier antara K dan D^2

$$K = 0,1475 D^2 + 24,4509$$

Dosis yang menyebabkan kematian bakteri E. Coli sebesar 100% ($K=100$) dapat ditentukan dengan persamaan garis diatas. Dari perhitungan diperoleh bahwa kematian bakteri sebesar 100% diperlukan dosis paparan gelombang ultrasonik sebesar 22,628 joule/ml atau $6,286 \times 10^{-3}$ kwh / liter.

Koefisien korelasi $r = 0,9946$ menunjukkan bahwa dosis paparan gelombang ultrasonik mempunyai hubungan yang bermakna terhadap persen kematian bakteri E. Coli. Koefisien determinasi $R^2 = 0,5358$. Hal ini menunjukkan sebaran titik sampelnya sangat bervariasi. Hal ini dapat diatasi dengan menambah jumlah sampel percobaan.

PEMBAHASAN

Dari hasil pengamatan persen, kematian bakteri E. Coli terhadap waktu paparan gelombang ultrasonik terlihat bahwa semakin lama waktu paparannya persen kematian bakteri E. Coli semakin besar. Dari persamaan regresinya terlihat bahwa kematian bakteri sebanyak 100% terjadi saat suspensi bakteri E. Coli terpapar gelombang ultrasonik selama 15 menit 42 detik. Jika daya yang dihasilkan oleh function generator sebesar 0,42 watt, maka energi paparan gelombang ultrasonik yang menghasilkan kematian sebesar 100% adalah 395,64 joule. Energi paparan gelombang ultrasonik sebesar ini dapat diperoleh dengan jalan : daya gelombang ultrasonik kecil dan waktu paparan lama atau daya gelombang ultrasonik besar dan waktu paparannya pendek. Kedua macam percobaan harus

dilakukan untuk mengetahui efektivitas paparan gelombang ultrasonik.

Untuk memperoleh daya gelombang ultrasonik yang lebih besar perlu didesain alat penguat daya gelombang ultrasonik. Alat ini berfungsi sebagai penguat getaran listrik yang berasal dari function generator serta meningkatkan daya listrik sehingga diperoleh getaran dengan daya tinggi. Dalam mendesain peralatan tersebut peneliti mengalami kesulitan diantaranya adalah :

- Karakteristik transduser ultrasonik tidak diketahui dengan baik.
- Tingginya frekuensi yang digunakan untuk membunuh bakteri E. Coli, yang mengakibatkan transistor dan transduser ultrasonik menjadi panas.
- Transistor yang ada dipasaran pada umumnya berada pada daerah audio.

Dari tabel 5. dan gambar 3 serta analisis data dengan frekuensi dan energi tetap diperoleh dosis paparan gelombang ultrasonik yang dapat membunuh bakteri E. Coli sebesar 100% adalah 22,628 joule/ml atau $6,286 \times 10^{-3}$ Kwh/liter. Hasil ini kurang sempurna mengingat bahwa energi paparan gelombang ultrasonik tergantung pada daya dan waktu. Seharusnya sebelum mencari dosis paparan gelombang ultrasonik, dilakukan percobaan untuk menentukan hubungan antara daya dengan persen kematian bakteri E. Coli. Dari percobaan tersebut dapat ditentukan daya gelombang ultrasonik yang dapat membunuh bakteri E. Coli sebesar 100%. Sedangkan waktu yang diperlukan untuk membunuh bakteri E. Coli sebesar 100% telah berhasil ditemukan. Dengan memanfaatkan daya dan waktu paparan gelombang ultrasonik yang dapat membunuh bakteri E. Coli sebesar 100% pada

- percobaan terdahulu, digunakan untuk menentukan dosis paparan gelombang ultrasonik.
- Tingginya nilai dosis paparan gelombang ultrasonik terkait dengan keterbatasan respon transduser ultrasonik yang digunakan. Bila frekuensi respon transduser semakin tinggi, maka selain berkaitan dengan nilai frekuensi alamiah bakteri E. Coli, juga meningkatkan impedansi transduser. Hal ini berhubungan dengan efisiensi energi transduser. Jadi keterbatasan respon transduser merupakan kendala utama dari pemanfaatan gelombang ultrasonik untuk membunuh bakteri E. Coli.
 - Terlepas dari kendala yang dihadapi didalam percobaan yang saya lakukan, upaya pendayagunaan gelombang ultrasonik sebagai metode alternatif untuk menurunkan jumlah bakteri E. Coli pada proses pengolahan air bersih memiliki prospek yang baik. hasil penelitian ini membuka peluang bagi peneliti lain untuk melakukan penelitian serupa dengan metode dan respon transduser yang juga lebih baik. Hal ini digunakan untuk mendapatkan metode pengendalian. Jumlah bakteri E. Coli pada proses pengolahan air bersih sekaligus berfungsi mengurangi atau menghilangkan dampak negatif akibat keberadaan bakteri E. Coli di dalam air bersih.
 - Keuntungan penggunaan gelombang ini adalah merupakan gelombang mekanik dengan frekuensi di atas frekuensi ambang dengar manusia adalah tidak terjadinya efek kebisingan yang mengganggu. Di samping itu paparan gelombang ultrasonik di dalam air memiliki efektivitas yang lebih baik karena cepat rambat gelombang ultrasonik didalam air lebih tinggi dibandingkan di udara. Hal ini ditunjang pula oleh derajat

kebebasan bergerak bakteri E. Coli di dalam air yang terbatas.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang bertujuan untuk menentukan frekuensi optimal dan dosis paparan gelombang ultrasonik untuk jumlah bakteri E. Coli, yang dilakukan di bagian Mikrobiologi Fakultas Kedokteran Universitas Wijaya Kusuma Surabaya dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Untuk mencapai persen kematian bakteri E. Coli maksimum dibutuhkan paparan gelombang ultrasonik dengan dosis (energi persatuan volume) sebesar $6,286 \times 10^{-3}$ Kwh/liter.
2. Terdapat hubungan yang signifikan antara variabel-variabel yang diteliti. Hal ini ditandai dengan nilai koefisien korelasi yang mendekati 1, yaitu :
 - a. Terdapat hubungan yang signifikan antara waktu paparan gelombang ultrasonik dengan persen kematian bakteri E. Coli, dengan $r = 0,9989$
 - b. Terdapat hubungan yang signifikan antara dosis (energi persatuan volume) paparan gelombang ultrasonik dengan persen kematian bakteri E. Coli, dengan $r = 0,9946$.

Saran

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa upaya untuk mendayagunakan gelombang ultrasonik sebagai metode desinfeksi terhadap mikroorganisme khususnya bakteri E. Coli memiliki prospek yang baik untuk dikembangkan sebagai metode alternatif. Selain relatif tidak beresiko menimbulkan pencemaran lingkungan, metode ini mempunyai

efektivitas yang cukup baik. Di bawah ini adalah Kendala utama penerapan metode ini dan saran untuk memperbaikinya :

1. Terbatasnya respon frekuensi transduser, sehingga perlu diupayakan untuk mendapatkan jenis transduser dengan spesifikasi yang diinginkan agar upaya optimasi dosis paparan gelombang ultrasonik memiliki hasil yang lebih baik, ditinjau dari aspek fisis maupun ekonomis. Dengan respon frekuensi yang lebih baik, diharapkan faktor energi persatuan volume yang dibutuhkan untuk desinfeksi E. Coli akan memiliki nilai yang lebih kecil, sehingga tercipta efisiensi energi yang diinginkan.
2. Besar sampel pada percobaan yang ditujukan untuk menemukan waktu dan dosis paparan gelombang ultrasonik terhadap persen kematian bakteri E. Coli perlu ditambah, untuk mendapatkan sebaran titik sampel yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ackerman, Eugene, 1985. *Biophysical Science*, Prinsice Hal Inc, Engelwood Cliffs, New Jersey.
- Brooks, Geo F, et al, 2001, *Medical Microbiology Twenty Second Edition*, McGraw-Hill Inc.
- Amsyari, Fuad, 2007. *Penyakit yang ditularkan melalui air*, Seminar Air Sehat, Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga, Surabaya.
- Cameron, Skfronik, 1988. *Medical Physics*, A. Wileg Inter Sciences, New York.
- Croknell, AP, 1980. *Ultrasonic*, Wykeham Publication LTD, London.
- Cromer, Alan, 1994. *Physics For Life Sciences*, Mc Graw Hill Inc. Publication, New York.
- Fardiaz, Srikandi, 1992. *Polusi Air dan Udara*, Penerbit Kanisius Yogyakarta.
- Gobermen, GI, 1988. *Ultrasonic Theory and Applicaton*, The English University Press, London.
- Hariaji, Imam, 1990. *Pemanfaatan Gelombang Ultrasonik Untuk Mengusir Lalat Rumah*, Skripsi, FMIPA Universitas Airlangga, Surabaya.
- Mansyur. Mas, dkk, 2007. *Optimasi Frekuensi dan Dosis Paparan Gelombang Ultrasonik Untuk Membunuh Jentik Nyamuk*, Seminar DP2M Dikti Depdiknas, Jakarta
- Maskunah, 1988. *Pengaruh Gelombang Ultrasonik Terhadap Suspensi Bakteri*, Kolokium, FMIPA Universitas Airlangga Surabaya.
- Nasir, Moh, 1988. *Metode Penelitian*, Penerbit Ghalia, Jakarta
- Pelezar, Michael. J, 1988. *Dasar-Dasar Mikrobiologi*, Diterjemahkan oleh ratna Sti H, Penerbit UI Press, Jakarta
- Prijo, T. Anggono, 1989. *Studi Tentang Cepat Rambat Gelombang Ultrasonik dan Metode Pengukurannya*, Kolokium, FMIPA Universitas Airlangga Surabaya.
- Saruji, Didik, 2006. *Kesehatan Lingkungan*, Media Ilmu, Sidoarjo.
- Spiegel, RM, 1996. *Statistika*, Penerbit, Erlangga, Jakarta.

- Suriawiria, Unus, 2005. *Air Dalam Kehidupan dan Lingkungan Yang Sehat*, Penerbit PT. Alumni, Bandung.
- Suriawiria, Unus, 2003. *Mikrobiologi Air*, Penerbit PT. Alumni, Bandung.
- Tortora, Gerorrd. J, 2007. *Microbiology*, Pearson Education Inc, San Francisco.
- Wiantari, Sugiani, 1993. *Pemanfaatan Gelombang Ultrasonik Untuk Membunuh Larva Aedes Aegypti*, Skripsi, FMIPA Universitas Airlangga, Surabaya.
- Widodo, Asnar, 1990. *Pembersihan Kotoran Pada Benda Dengan Menggunakan Gelombang Ultrasonik*, Kolokium, FMIPA Universitas Airlangga, Surabaya.
- Widodo, Asnar, 1990. *Efisiensi Pencucian Gelombang Ultrasonik*, Kolokium, FMIPA Universitas Airlangga, Surabaya.