

#### 4. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Sanitasi

Produk sayuran mengandung serat, vitamin, mineral dan fitokimia sehingga berperan penting dalam kesehatan tubuh (Adrianto, 2017). Setiap jenis sayuran memiliki kandungan dan juga karakteristik yang berbeda-beda antara satu dengan yang lainnya. Jenis dari sayuran segar akan berpengaruh pada perlakuan untuk menghilangkan kontaminasinya. Jenis sayuran dapat mempengaruhi jumlah konsentrasi ozon pada metode ozonisasi, densitas daya dan frekuensi pada metode *ultrasound* dan juga waktu, suhu, dan faktor perlakuan lainnya. Variabel perlakuan harus disesuaikan dengan jenis sayuran yang akan di-*treatment* agar kontaminasi biologi, kimia maupun fisik dapat hilang secara optimal tetapi tidak menurunkan kualitasnya (Aycicek *et al.*, 2006). Terdapat kemungkinan bahwa jenis sayuran daun mendapatkan konsentrasi ozon yang tinggi dengan waktu yang singkat agar tidak terjadi penghilangan zat klorofil (kehilangan warna) yang diakibatkan oleh proses oksidasi. Terdapat kemungkinan juga bahwa jenis sayuran daun lebih efektif dengan perlakuan frekuensi tinggi dengan waktu yang singkat.

Jenis sayuran yang banyak diteliti oleh peneliti adalah daun selada. Hal ini dapat disebabkan karena daun selada merupakan sayuran produk segar yang sering dikonsumsi oleh masyarakat. Sayuran lain yang sering dijadikan objek penelitian dalam metode sanitasi ozonisasi dan *ultrasound* adalah tomat, wortel, bayam, paprika dan parsley. Sayuran yang akan dikonsumsi mentah perlu dilakukan sanitasi pasca panen karena terdapat banyak kontaminasi yang didapat melalui proses dari lahan pertanian hingga ke tangan konsumen (Park *et al.*, 2012). Perlunya sanitasi ini dikarenakan bahan pangan yang terkontaminasi oleh kontaminan biologi, kimia dan fisik dapat mengakibatkan gangguan kesehatan pada konsumen, sehingga perlu diminimalisir jumlahnya (Aycicek *et al.*, 2006). Jenis sayuran dapat dibagi menjadi dua yaitu jenis sayuran yang dikonsumsi dalam keadaan segar dan jenis sayuran yang perlu diproses lebih lanjut. Jenis sayuran yang diproses lebih lanjut merupakan sayuran yang dikonsumsi setelah melewati proses pemasakan. Sayuran yang diproses lebih lanjut akan melewati proses pemanasan sehingga bakteri dan senyawa kimia dalam sayuran tersebut dapat berkurang dengan persentase yang tinggi.

## 4.1. Metode Ozonisasi

### 4.1.1. Suhu

Ozon dapat larut dalam air secara optimal pada suhu ruang yaitu suhu sekitar 20-25 °C (Haifan, 2017). Senyawa ozon yang sudah terbentuk akan terurai kembali menjadi oksigen karena ikatan ozon yang tidak stabil. Saat ozon di udara maupun di dalam air ia menjadi mudah terurai. Ozon mempunyai sifat dapat terdekomposisi menjadi radikal OH yaitu oksidan yang sangat kuat dalam air sehingga ozonasi membutuhkan 2 hal yaitu radikal OH dan ozon itu sendiri. Ozon merupakan senyawa yang bersifat radikal dimana ia mudah bereaksi dengan senyawa di sekitarnya termasuk bakteri dan residu pestisida. Jika terdapat suhu air tidak sesuai dengan suhu perlakuan yang tepat, maka terdapat kemungkinan ozon yang larut menjadi lebih sedikit dan menyebabkan reaksi dengan senyawa di sekitarnya menjadi terhambat (Handayani *et al.*, 2017).

Tabel 3. menunjukkan bahwa rata-rata pada percobaan dengan masing-masing jenis sayuran, memiliki suhu air pada suhu ruang yang sesuai dengan teori. Namun pada suhu ruang terdapat hasil pengurangan bakteri dan residu pestisida tidak maksimal. Beberapa jenis sayuran seperti paprika dan selada dengan suhu 15-17 °C, tomat dengan suhu 10 °C dan juga wortel dengan suhu 3 °C. Untuk percobaan jenis sayuran paprika yang menggunakan suhu 15-17 °C ini mengacu pada teori bahwa sanitasi dengan kondisi suhu lingkungan 15-20 °C masih efektif untuk menghilangkan kontaminasi pada sayuran tersebut. Hal ini dikarenakan pada penelitian tersebut sayuran tidak mengalami efek yang merugikan dan dapat mengurangi bakteri sekitar 50-96% (Rennecker *et al.*, 2001). Teori ini terbukti karena hasil penelitian dari sayuran paprika dapat mengurangi bakteri sebanyak 50% dan 95,61%, sedangkan selada 81,28%. Percobaan jenis sayuran tomat yang menggunakan suhu 10 °C dapat mengurangi bakteri residu pestisida diatas 70%. Percobaan mengacu pada teori bahwa pestisida akan mudah terurai jika bahan pangan tersebut dibekukan terlebih dahulu, sehingga air yang digunakan untuk perlakuan memiliki suhu yang rendah. Pada percobaan jenis sayuran wortel yang menggunakan suhu 3 °C disebabkan karena sebelum perlakuan ozonisasi, wortel disimpan terlebih dahulu dalam suhu dingin. Air yang digunakan dalam perlakuan menyesuaikan dengan suhu wortel saat berada dalam pendinginan yaitu 3-4 °C. Dari

percobaan ini didapatkan hasil pengurangan bakteri sebanyak 56,36%. Hasil-hasil ini membuktikan bahwa faktor suhu dapat bervariasi dalam meminimalisir kontaminasi pada sayuran.

#### 4.1.2. Konsentrasi Ozon

Konsentrasi atau dosis dari ozon dapat dikatakan berhubungan erat dengan waktu paparan yang dibutuhkan untuk menghilangkan kontaminasi di dalam sayuran. Besarnya jumlah konsentrasi ozon akan berpengaruh terhadap lama waktu yang dibutuhkan untuk proses ozonisasi. Semakin besar konsentrasi ozon yang dikeluarkan, maka semakin sedikit waktu yang akan dibutuhkan untuk proses ozonisasi (Zhang *et al.*, 2020). Didapat dari beberapa jurnal yang melakukan percobaan menghilangkan kontaminasi dengan menggunakan ozonisasi ini, diketahui bahwa konsentrasi ozon dapat berbeda-beda tiap perlakuannya. Hal ini bergantung pada seberapa banyak bakteri, jenis bakteri dan senyawa residu pestisida yang terdapat di dalam sayuran tersebut. Tetapi menurut Haifan (2017), konsentrasi rendah (< 0,5 mg/L) ozon dalam air sudah dapat membunuh mikroorganisme. Hasil dari setiap sayuran pada penelitian-penelitian metode ini menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi ozon maka semakin sedikit waktu yang dibutuhkan.

##### 4.1.2.1. Sayuran Segar

Pada Tabel 3. dapat dilihat bahwa pada jenis sayuran paprika terdapat 2 perlakuan yang berbeda yaitu dengan konsentrasi ozon 2 mg/L selama 3 menit yang dapat mengurangi bakteri *L. innocua* sebanyak 50%. Sedangkan pada perlakuan dari jurnal yang lain perlakuan yang dilakukan adalah dengan konsentrasi ozon 0,5 mg/L selama 30 menit yang dapat mengurangi bakteri *Listeria sp.* sebanyak 95,61%. Adanya perbedaan hasil antara kedua perlakuan disebabkan karena waktu dan adanya kemungkinan disebabkan karena adanya resirkulasi pada percobaan dengan konsentrasi ozon 0,5 mg/L selama 30 menit. Resirkulasi menyebabkan konsentrasi ozon terisi kembali setiap 10 menit, sehingga pengurangan bakteri lebih optimal.

Pada jenis tumbuhan parsley terdapat 2 perlakuan yang berbeda yaitu dengan konsentrasi ozon 0,5 mg/L selama 20 menit dapat mengurangi bakteri *E. coli* sebanyak 33,43%. Pada perlakuan lainnya yaitu dengan konsentrasi ozon 0,5 mg/L selama 30 menit dapat mengurangi bakteri *E. coli* sebanyak 33,70% dan mengurangi bakteri *L. innocua* sebanyak 24,46%. Pada hasil bakteri *E. coli* terdapat hasil yang berbeda dikarenakan adanya resirkulasi pada perlakuan dengan waktu 30 menit. Resirkulasi sendiri merupakan sebuah sistem dimana air di dalam ozon kontraktor terbuang kemudian akan terisi kembali dengan air dan ozon dari ozon generator setiap 10 menit/siklus (Karaca dan Velioglu, 2020). Perbedaan hasil pengurangan bakteri *E. coli* dengan *L. innocua* berbeda karena bakteri *Listeria* memiliki dinding sel yang lebih tebal dibandingkan *E. coli*.

Jenis sayuran selada terdapat 3 perlakuan yang berbeda dengan tujuan pengurangan kontaminasi yang berbeda. Pada pengurangan kontaminasi biologis terdapat 3 perlakuan yaitu untuk pengurangan bakteri *Listeria sp.* dilakukan perlakuan dengan konsentrasi ozon 0,5 mg/L selama 30 menit dengan hasil dapat mengurangi bakteri sebanyak 81,28%. Untuk pengurangan bakteri *E. coli* O157:H7 dilakukan perlakuan dengan konsentrasi ozon 4,3 mg/L selama 5 menit yang dapat mengurangi bakteri sebanyak 64,53% dan perlakuan dengan konsentrasi ozon 0,5 mg/L selama kurang lebih 5 menit yang dapat mengurangi bakteri *E. coli* sebanyak 32,34%. Perbandingan yang dihasilkan ini dapat dilihat bahwa pengurangan kontaminasi bakteri dapat dipengaruhi oleh konsentrasi ozonnya. Pengurangan bakteri *E. coli* dengan konsentrasi berbeda dan waktu yang sama menghasilkan hasil pengurangan yang berbeda. Konsentrasi ozon 4,3 mg/L dapat mengurangi bakteri *E. coli* lebih banyak karena konsentrasi ozon 0,5 mg/L dengan waktu 5 menit memiliki konsentrasi rendah dan waktu yang singkat sehingga hasil pengurangan tidak maksimal. Konsentrasi yang sama dengan waktu yang berbeda juga dapat mempengaruhi pengurangan bakteri. Meskipun bakteri *E. coli* memiliki dinding yang lebih tipis dibandingkan *Listeria sp.*, tetapi perlakuan konsentrasi rendah dengan waktu yang singkat pada *E. coli* menghasilkan pengurangan tersebut tidak optimal. Pada jenis sayuran tomat hanya terdapat 1 perlakuan saja untuk menghilangkan kontaminasi biologi berupa bakteri yaitu dengan konsentrasi ozon 4,3 mg/L dalam waktu 5 menit dapat mengurangi bakteri *Salmonella sp.* sebanyak 68,26%.

Tabel 3. Pengurangan Bakteri Dengan Metode Ozonisasi Pada Sayuran Segar

| Jenis sayuran | Konsentrasi ozon | Waktu     | Suhu       | Hasil   | Sumber                           |
|---------------|------------------|-----------|------------|---|----------------------------------|
| Paprika       | 2,0 mg/L         | 3 menit   | 15 °C      | Mengurangi bakteri <i>L. innocua</i> sebanyak 50%         | Elisabete <i>et al.</i> (2011)   |
| Paprika       | 0,5 mg/L         | 30 menit* | 15-17 °C   | Mengurangi bakteri <i>Listeria sp.</i> sebanyak 95,61%    | Alexopoulos <i>et al.</i> (2013) |
| Parsley       | 0,5 mg/L         | 20 menit  | 21 °C      | Mengurangi bakteri <i>E. coli</i> sebanyak 33,43%         | Karaca <i>et al.</i> (2014)      |
| Parsley       | 0,5 mg/L         | 30 menit* | 23 °C      | Mengurangi bakteri <i>E. coli</i> sebanyak 33,70%         | Karaca <i>et al.</i> (2020)      |
| Parsley       | 0,5 mg/L         | 30 menit* | 23 °C      | Mengurangi bakteri <i>L. innocua</i> sebanyak 24,46%      | Karaca <i>et al.</i> (2020)      |
| Selada        | 0,5 mg/L         | 5 menit   | 21 °C      | Mengurangi bakteri <i>E. coli</i> sebanyak 32,34%         | Karaca <i>et al.</i> (2014)      |
| Selada        | 0,5 mg/L         | 30 menit  | 15-17 °C   | Mengurangi bakteri <i>Listeria sp.</i> sebanyak 81,28%    | Alexopoulos <i>et al.</i> (2013) |
| Selada        | 4,3 mg/L         | 5 menit   | Suhu ruang | Mengurangi bakteri <i>E. coli</i> O157:H7 sebanyak 64,35% | Trinetta <i>et al.</i> (2011)    |
| Tomat         | 4,3 mg/L         | 5 menit   | Suhu ruang | Mengurangi bakteri <i>Salmonella sp.</i> sebanyak 68,26%  | Trinetta <i>et al.</i> (2011)    |

\* Proses Resirkulasi

Pada Tabel 4. dapat dilihat bahwa pada jenis sayuran mentimun terdapat perlakuan dengan penambahan konsentrasi ozon 0,4 mg/L selama 20 menit dapat mengurangi residu pestisida *Chlorpyrifos* sebanyak 21%, *Difenoconazole* sebanyak 33% dan *Bifenthrin* sebanyak 49%. Pengurangan residu pestisida yang tidak maksimal disebabkan karena konsentrasi ozon yang sangat rendah sehingga reaksi yang terjadi tidak maksimal meskipun waktu yang digunakan cukup lama. Perbedaan hasil pengurangan dari masing-masing residu pestisida ini dikarenakan pestisida *Bifenthrin* merupakan pestisida dengan konsentrasi rendah, sehingga dalam pengurangannya lebih mudah dibandingkan dengan kedua jenis pestisida lainnya.

Jenis sayuran selada dalam pengurangan kontaminasi kimia berupa residu pestisida terdapat 2 perlakuan yaitu untuk pengurangan residu pestisida *Fenitrothion (FT)* pestisida organofosfor. Perlakuannya yang dilakukan adalah dengan penambahan konsentrasi ozon 2 mg/L selama 5 menit dapat mengurangi residu sebanyak sekitar 70 mg/L (pengurangan 67%) dan dengan konsentrasi ozon 1 mg/L selama 10 menit yang dapat mengurangi 12,2 mg/L (pengurangan 39%). Perbedaan waktu dan konsentrasi ozon dapat berpengaruh dalam pengurangan residu. Dapat dilihat bahwa pengurangan residu lebih efektif dalam waktu yang lebih singkat dengan konsentrasi ozon yang sedikit lebih tinggi.

Pada jenis sayuran tomat terdapat perlakuan dengan konsentrasi ozon 3 mg/L dalam waktu 30 menit dapat mengurangi residu pestisida seperti *Azoxystrobin* menjadi 6 mg/L (pengurangan 70%), *Chlorothalonil* menjadi 1 mg/L (90%), *Difenoconazole* menjadi 11,5 mg/L (pengurangan 77%). Perbedaan hasil pengurangan dari masing-masing pestisida ini dapat disebabkan oleh ozon yang berkaitan dengan radikal bebas (contohnya: hidroksil, superoksil, dll) pada kandungan yang terdapat pada masing-masing pestisida sehingga efektif dalam penguraian molekul organik (Misra, 2015). Perlakuan dengan waktu 30 menit ini dikarenakan penelitian dilakukan dengan proses resirkulasi.

Tabel 4. Pengurangan Residu Pestisida Dengan Metode Ozonisasi Pada Sayuran Segar

| Jenis sayuran | Konsentrasi ozon | Waktu     | Suhu  | Hasil   | Sumber                         |
|---------------|------------------|-----------|-------|---|--------------------------------|
| Mentimun      | 0,4 mg/L         | 20 menit  | 21 °C | Mengurangi residu pestisida <i>Chlorpyrifos</i> sebanyak 21%      | Wu <i>et al.</i> (2019)        |
| Mentimun      | 0,4 mg/L         | 20 menit  | 21 °C | Mengurangi residu pestisida <i>Difenoconazole</i> sebanyak 33%    | Wu <i>et al.</i> (2019)        |
| Mentimun      | 0,4 mg/L         | 20 menit  | 21 °C | Mengurangi residu pestisida <i>Bifenthrin</i> sebanyak 49%        | Wu <i>et al.</i> (2019)        |
| Selada        | 2,0 mg/L         | 5 menit   | 20 °C | Mengurangi residu pestisida <i>Fenitrothion</i> (FT) sebanyak 67% | Ikeura <i>et al.</i> (2011)    |
| Selada        | 1,0 mg/L         | 10 menit  | 20 °C | Mengurangi residu pestisida <i>Fenitrothion</i> (FT) sebanyak 39% | Ikeura <i>et al.</i> (2011)    |
| Tomat         | 3 mg/L           | 30 menit* | 10 °C | Mengurangi residu pestisida <i>Azoxystrobin</i> sebanyak 70%      | Rodrigues <i>et al.</i> (2019) |
| Tomat         | 3 mg/L           | 30 menit* | 10 °C | Mengurangi residu pestisida <i>Chlorothalonil</i> sebanyak 90%    | Rodrigues <i>et al.</i> (2019) |
| Tomat         | 3 mg/L           | 30 menit* | 10 °C | Mengurangi residu pestisida <i>Difenoconazole</i> sebanyak 77%    | Rodrigues <i>et al.</i> (2019) |

\* Proses Resirkulasi

#### 4.1.2.2. Sayuran Segar yang Diproses Lebih Lanjut

Sayuran segar yang akan diproses lebih lanjut menjadi sebuah makanan juga memerlukan langkah sanitasi saat sayuran tersebut masih segar agar kontaminasi yang terdapat pada sayuran tidak berkembang dan dapat diminimalisir terlebih dahulu. Pada Tabel 5. dapat dilihat bahwa pada jenis sayuran bayam terdapat 2 perlakuan yang berbeda yaitu dengan konsentrasi ozon 5 mg/L selama 3 menit dapat mengurangi bakteri *E. coli* O157:H7 menjadi 1,78 log CFU/g (pengurangan 59,33%) dan *L. monocytogenes* menjadi 2,8 log CFU/g (pengurangan 70%). Sedangkan perlakuan yang lainnya dengan konsentrasi ozon 0,5 mg/L selama 20 menit dapat mengurangi bakteri *E. coli* O157:H7 menjadi 4,66 log CFU/g (pengurangan 26,73%). Perbedaan hasil ini bisa terjadi karena waktu yang cukup lama pada perlakuan dengan 20 menit sehingga terdapat kemungkinan ozon terurai kembali dikarenakan pada suhu 20 °C ozon dapat bertahan selama kurang lebih 30-40 menit. Jenis sayuran wortel terdapat 1 perlakuan untuk mengurangi kontaminasi bakteri yaitu dengan konsentrasi ozon 1,5 mg/L selama 3 menit dapat mengurangi bakteri *E. coli* menjadi 2,4 log CFU/g (pengurangan 56,36%).

Pada Tabel 6. dapat dilihat bahwa pada jenis sayuran sawi putih terdapat 1 perlakuan yaitu dengan konsentrasi ozon 8,3 mg/L selama 45 menit yang dapat mengurangi residu pestisida *Permethrin* menjadi 2,07 mg/L (pengurangan 40%), *Chlorfluazuron* menjadi 4,29 mg/L (pengurangan 19%) dan *Chlorothalonil* menjadi 1,43 mg/L (pengurangan 28%). Hasil menunjukkan bahwa pengurangan residu pestisida ini tidak terlalu optimal dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya. Hal ini disebabkan karena terlalu tingginya konsentrasi ozon dan juga waktu yang terlalu lama untuk proses ozonisasi. Perlakuan ini terdapat kemungkinan ozon yang terbentuk berubah kembali menjadi oksigen mengingat sifat ozon yang tidak stabil.

Dalam tabel jenis sayuran wortel dapat mengurangi residu pestisida dengan konsentrasi ozon 0,800 mg/L selama 3 menit dapat mengurangi residu pestisida *Difenoconazole* menjadi 125 mg/kg (pengurangan 95%) dan perlakuan lainnya dengan konsentrasi ozon 0,800 mg/L selama 10 menit dapat mengurangi residu pestisida *Linuron* menjadi 360 mg/kg



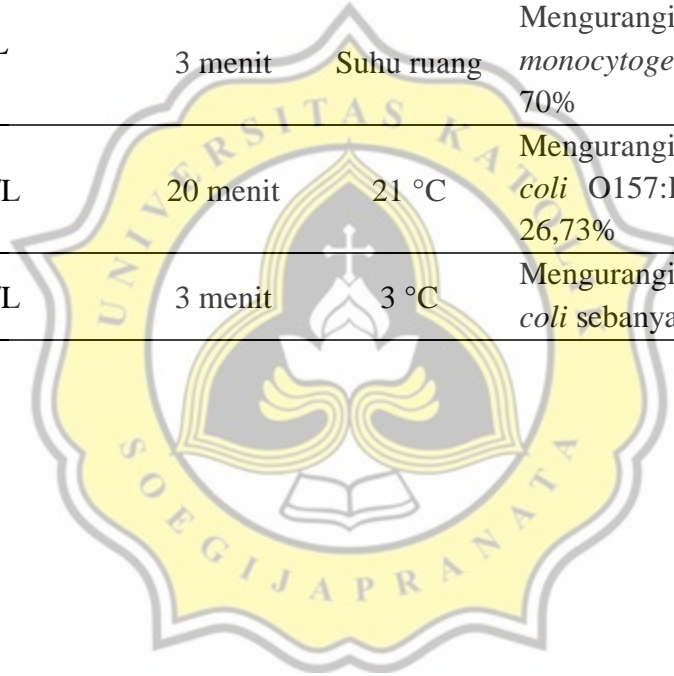
(pengurangan 95%). Pada hasil yang di dapat, residu pestisida *Linuron* membutuhkan waktu yang lebih lama. Hal ini dapat disebabkan karena reaksi ozon yang berbeda antara kandungan dalam pestisida satu dengan yang lainnya.

#### **4.1.3. Luas Permukaan**

Dalam melakukan proses ozonisasi, massa dari bahan pangan yang akan diproses menjadi sebuah faktor penunjang keberhasilan dari proses ozonisasi ini. Konsentrasi ozon dapat dipengaruhi oleh massa bahan pangan sehingga konsentrasi perlu dikontrol agar proses ozonisasi efektif pada seluruh bahan pangan. Massa bahan pangan perlu diperhatikan karena berpengaruh pada efektivitas yang terdapat dalam proses tersebut. Didapat dari hasil penelitian jurnal yang sudah dibaca, massa sayuran yang akan melakukan proses ozonisasi dipengaruhi oleh jenis sayurannya juga. Seperti contoh jenis sayuran tomat dan wortel memiliki massa yang berbeda meskipun memiliki perlakuan konsentrasi ozon dan waktu yang sama (Karaca *et al.*, 2020). Konsentrasi ozon berhubungan dengan volume air, maka volume air juga berpengaruh bagi keefektifan proses ozonisasi. Jumlah volume air rata-rata memiliki jumlah volume sekitar 7 L-30 L. Semakin besar volume air maka semakin rendah konsentrasi ozonnya untuk mengimbangi luas paparan pada bahan pangan tersebut. Volume air juga berhubungan dengan massa jenis sayuran. Jenis sayuran yang luasnya lebih kecil memiliki volume air yang lebih kecil juga jika konsentrasi ozonnya sama. Jika dengan konsentrasi ozon dan volume air yang sama, maka reaksi pada setiap jenis sayuran berbeda-beda sesuai dengan luas permukaannya. Jika luas paparan pada jenis sayuran kecil dengan tingkat ozonisasi yang tinggi, maka akan dapat menimbulkan reaksi oksidasi yang terlalu tinggi (Chen *et al.*, 2013).

Tabel 5. Pengurangan Bakteri Dengan Metode Ozonisasi Pada Sayuran Segar yang Diproses Lebih Lanjut

| Jenis sayuran | Konsentrasi ozon | Waktu    | Suhu       | Hasil   | Sumber                          |
|---------------|------------------|----------|------------|---|---------------------------------|
| Bayam         | 5 mg/L           | 3 menit  | Suhu ruang | Mengurangi bakteri <i>E. coli</i> O157:H7 sebanyak 59,33% | Horvitz dan Cantalejo (2014)    |
| Bayam         | 5 mg/L           | 3 menit  | Suhu ruang | Mengurangi bakteri <i>L. monocytogenes</i> sebanyak 70%   | Horvitz dan Cantalejo (2014)    |
| Bayam         | 0,5 mg/L         | 20 menit | 21 °C      | Mengurangi bakteri <i>E. coli</i> O157:H7 sebanyak 26,73% | Karaca <i>et al.</i> (2014)     |
| Wortel        | 1,5 mg/L         | 3 menit  | 3 °C       | Mengurangi bakteri <i>E. coli</i> sebanyak 56,36%         | Paulikiene <i>et al.</i> (2020) |



Tabel 6. Pengurangan Residu Pestisida Dengan Metode Ozonisasi Pada Sayuran Segar yang Diproses Lebih Lanjut

| Jenis sayuran | Konsentrasi ozon | Waktu    | Suhu       | Hasil  | Sumber                        |
|---------------|------------------|----------|------------|--|-------------------------------|
| Sawi putih    | 8,3 mg/L         | 45 menit | Suhu ruang | Mengurangi residu pestisida <i>Permenthrine</i> sebanyak 40%   | Chen <i>et al.</i> (2013)     |
| Sawi putih    | 8,3 mg/L         | 45 menit | Suhu ruang | Mengurangi residu pestisida <i>Chlorfluazuron</i> sebanyak 19% | Chen <i>et al.</i> (2013)     |
| Sawi putih    | 8,3 mg/L         | 45 menit | Suhu ruang | Mengurangi residu pestisida <i>Chlorothalonil</i> sebanyak 28% | Chen <i>et al.</i> (2013)     |
| Wortel        | 0,800 mg/L       | 3 menit  | Suhu ruang | Mengurangi residu pestisida <i>Difenoconazole</i> sebanyak 95% | de Souza <i>et al.</i> (2017) |
| Wortel        | 0,800 mg/L       | 10 menit | Suhu ruang | Mengurangi residu pestisida <i>Linuron</i> sebanyak 95%        | de Souza <i>et al.</i> (2017) |

## 4.2. Metode *Ultrasound*

### 4.2.1. Bahan Kimia Sanitasi

Pencucian menggunakan larutan bahan kimia sanitasi merupakan suatu langkah yang sering dilakukan dalam rantai produksi buah dan sayuran segar agar jumlah mikroorganisme patogen dan pembusuk dapat dikurangi. Pencucian sangat penting bagi keamanan produk, tetapi agen sanitasi yang digunakan memiliki efektivitas yang terbatas (Saul *et al.*, 2007). Pencucian dengan bahan pembersih encer seperti klorin, hidrogen peroksida, dan trisodium fosfat telah terbukti dapat mereduksi mikroba pada produk segar. Tetapi penggunaan pembersih saja belum berhasil untuk mengendalikan patogen secara besar. Perlakuan dengan klorin memiliki efek samping seperti pembentukan *trihalomethanes* yang merupakan senyawa kimia yang membentuk atom halogen untuk menggantikan tiga dari empat atom hidrogen metana, dan banyak yang dianggap karsinogenik (Sagong *et al.*, 2011). Selain itu, beberapa pembersih kimia tidak dapat digunakan di pengolahan makanan. Semakin banyak pula konsumen yang menuntut untuk mengurangi penggunaan bahan kimia tambahan. Para peneliti kemudian mencari cara untuk mengurangi secara signifikan bakteri patogen dan bahan kimia secara bersamaan seperti kombinasi dengan metode-metode sanitasi untuk memastikan keamanan produk organik.

Pada penelitian Sagong *et al.* (2011), perlakuan selada dilakukan dengan *ultrasound* dan kombinasi larutan asam organik yaitu asam malat, asam laktat dan asam sitrat dapat mengurangi bakteri sekitar 32%-39%. Larutan tersebut digunakan karena saat mengevaluasi efek antimikroba dari asam organik (asam propionat, asam asetat, asam laktat, asam malat dan asam sitrat) pada pengurangan patogen bawaan makanan (*E. coli* O157:H7, *S. Typhimurium* dan *L. monocytogenes*), ketiga larutan ini paling efektif dibandingkan dengan asam organik yang lain. Tidak hanya menggunakan larutan pembersih saja, salah satu penelitian pada jenis sayur selada juga menggunakan kombinasi *ultrasound* dengan larutan ozon. Ozon merupakan senyawa yang efektif untuk inaktivasi kontaminan tetapi dengan oksidasi yang terlalu tinggi menyebabkan penghilangan warna pada produk. Pada penelitian sawi putih, Alenyorege *et al.* (2019) melakukan penelitian sanitasi dengan *ultrasound* dan larutan NaOCl karena bakteri seperti *E. coli* dan *Listeria sp.* dapat dihilangkan dengan adanya

NaOCl yang dapat menembus peptidoglikan yang lebih tipis dengan dinding sel yang lemah. Hasil dari penelitian ini dapat mengurangi bakteri sebanyak 35,87% dan 41,87%.

Salah satu penelitian jenis sayur parsley dan bayam terdapat perlakuan dengan menggunakan pelarut dengan berbahan dasar klorin dengan hasil pengurangan bakteri pada parsley sebanyak 84,21% dan pada bayam sebanyak 56,76%. Hal ini dikarenakan senyawa tersebut mempunyai aktivitas antimikroba yang tinggi dan juga pelarutannya sempurna dalam air terklorinasi tetapi mempunyai sifat korosif (Allende *et al.*, 2008). Penelitian jenis sayur parsley dan tomat juga terdapat perlakuan menggunakan pelarut *peracetic acid* yang merupakan zat pengoksidasi yang lebih kuat dari klorin dan klor dioksida dan juga keuntungannya adalah suhu, pH dan keberadaan bahan organik tidak akan mempengaruhi aktivitasnya (Francisco *et al.*, 2009). Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa pada parsley pengurangan bakteri sebanyak 87,48% dan tomat sebanyak 50,39%. Pada penelitian jenis sayur bayam lainnya terdapat kombinasi ultrasound dengan *Slightly Acidic Electrolyzed Water* (SAEW) yaitu air elektrolisis yang memiliki sedikit asam. SAEW mempunyai aktivitas antimikroba dengan ketersediaan klorin yang rendah sehingga dapat mengurangi korosi permukaan (Nan *et al.*, 2010). Pada penelitian larutan yang digunakan adalah HCl 6% dengan hasil pengurangan bakteri sebanyak 38,91% dan 43,82%. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa larutan bahan kimia sanitasi yang ditambahkan pada proses ini dapat mempengaruhi hasil pengurangan kontaminasi.

#### 4.2.2. Densitas Daya

Densitas daya merupakan kepadatan daya dengan jumlah daya per satuan volume. Pada penelitian Zhang *et al.* (2009), menyatakan bahwa semakin meningkatnya densitas daya, maka akan terjadi sedikit penghilangan warna yang tidak terlalu berpengaruh. Peningkatan dari densitas daya ini tidak menghasilkan peningkatan efisiensi proses secara keseluruhan. Tetapi terdapat fakta bahwa dengan adanya peningkatan input densitas daya di luar nilai tertentu akan menyebabkan penurunan yang nyata dalam efisiensi proses secara keseluruhan (Sivakumar dan Pandit, 2001). Beberapa penelitian pada umumnya, densitas daya yang digunakan pada *ultrasound* untuk perlakuan pada sayuran segar tidak lebih dari 1000 W/L.

Pada tabel penelitian metode sanitasi *ultrasound* dapat dilihat bahwa densitas daya yang diperlukan tidak lebih dari 1000 W/L. Densitas daya paling banyak adalah 30 W/L dan yang paling tinggi adalah 400 W/L. Di dalam penelitian Zhang *et al.* (2009), densitas daya yang dihasilkan tidak dipengaruhi oleh produk bahan pangan yang akan diteliti dan juga tidak dipengaruhi oleh lamanya perlakuan yang akan dilakukan.

#### **4.2.3. Frekuensi *Ultrasound***

Seperti yang sudah dijelaskan di awal bahwa metode *ultrasound* pada umumnya mengacu pada gelombang tekanan dengan frekuensi 20 kHz atau lebih, dan peralatan dari *ultrasound* menggunakan frekuensi dari 20 kHz hingga 10 MHz. Ultrasonografi berdaya tinggi pada frekuensi yang lebih rendah (20 hingga 100 kHz), akan menimbulkan kemampuan untuk menyebabkan kavitasi. Kavitasi digunakan dalam pengolahan makanan atau bahan pangan untuk menonaktifkan kontaminasi pada makanan tersebut terkhusus untuk menonaktifkan mikroorganisme (Piyasena *et al.*, 2003). Untuk menghasilkan penghilangan kontaminasi secara optimal, yang perlu diperhatikan tidak hanya frekuensi *ultrasound* saja melainkan juga lama perlakuannya. Dalam mengoptimalkan penghilangan kontaminasi, beberapa perlakuan juga menggunakan larutan pembersih yang cocok dan disesuaikan dengan jenis produk dan juga kontaminasi yang akan dihilangkan.

##### **4.2.3.1. Sayuran Segar**

Pada Tabel 7. dapat dilihat bahwa pada jenis sayuran mentimun dalam menghilangkan bakteri terdapat 2 perlakuan yang berbeda yaitu dengan frekuensi *ultrasound* 20 kHz selama 10 menit dapat mengurangi bakteri *E. coli* sebanyak 73% dan dengan perlakuan frekuensi *ultrasound* 20 kHz selama 15 menit dapat mengurangi bakteri *E. coli* sebanyak 71,80%. Persamaan frekuensi dengan target yang sama menimbulkan hasil yang berbeda. Pada waktu 10 menit pengurangan terjadi lebih besar dibandingkan dengan waktu 15 menit. Hal ini disebabkan karena kavitasi yang terjadi pada waktu 10 menit mencapai klimaks sehingga lebih banyak dibandingkan kavitasi dengan waktu 15 menit yang cenderung menurun dengan bertambahnya waktu.

Jenis sayuran paprika terdapat 1 perlakuan saja yaitu dengan frekuensi *ultrasound* 35 kHz selama 15 menit dapat mengurangi bakteri *L. innocua* sebanyak 67,58%. Dengan frekuensi yang tidak terlalu rendah dan waktu yang cukup lama, perlakuan *ultrasound* saja dapat menghilangkan bakteri cukup banyak. Pada jenis sayuran parsley terdapat perlakuan yang sama dengan larutan pembersih yang berbeda. Perlakuan pertama yaitu dengan frekuensi *ultrasound* 45 kHz selama 10 menit dapat mengurangi bakteri *Listeria sp.* sebanyak 78,26%. Perlakuan yang kedua dengan frekuensi 45 kHz selama 10 menit dengan menggunakan 10 mg/L *chlorine dioxide* selama 10 menit dapat mengurangi bakteri *Listeria sp.* sebanyak 84,21%. Perlakuan yang ketiga dengan frekuensi 45 kHz dengan menggunakan 40 mg/L *peracetic acid* selama 10 menit dapat mengurangi bakteri *Listeria sp.* sebanyak 87,48%. Pada perlakuan yang sama dapat dilihat pada larutan pembersih *peracetic acid* dapat mengurangi bakteri paling tinggi dibandingkan dengan larutan pembersih *chlorine dioxide* dan perlakuan dengan *ultrasound* saja. Hal ini dapat disebabkan karena *peracetic acid* merupakan zat pengoksidasi yang lebih kuat dari klorin dan klor dioksida.

Jenis sayuran selada terdapat 2 perlakuan yang berbeda dalam mengurangi kontaminan bakteri yaitu pada perlakuan pertama dengan frekuensi *ultrasound* 20 kHz selama 53 menit dapat mengurangi bakteri *E. coli* O157:H7 sebanyak 74,45%. Pada perlakuan kedua dengan frekuensi 40 kHz dengan menggunakan asam organik *lactic, citric, dan malic acid* 2% selama 5 menit dapat mengurangi bakteri *E. coli* O157:H7 sebanyak 32,30%, bakteri *L. monocytogenes* sebanyak 38,93%, bakteri *S. typhimurium* sebanyak 38,65%. Pada perlakuan pertama pengurangan bakteri *E. coli* O157:H7 lebih besar dibandingkan dengan perlakuan yang kedua. Hal ini dapat disebabkan karena waktu perlakuan yang berbeda jauh meskipun pada perlakuan kedua memiliki frekuensi yang lebih tinggi dan menggunakan kombinasi dengan larutan asam organik yang memiliki efek antimikroba. Pada asam organik pada perlakuan kedua juga dapat mengurangi beberapa bakteri meskipun angka pengurangan yang dihasilkan berbeda-beda tetapi perbedaan angka tersebut tidak terlalu jauh.

Pada jenis sayuran tomat perlakuan yang lainnya dengan frekuensi 45 kHz dengan menggunakan 40 mg/L *peracetic acid* selama 10 menit dapat mengurangi bakteri *Salmonella Typhimurium* sebanyak 50,39%. Perlakuan dengan frekuensi yang tinggi dan kombinasi

dengan *peracetic acid* dapat menghilangkan bakteri sekitar 50%. Jika dibandingkan dengan perlakuan pada daun parsley dengan hasil pengurangan yang besar maka hal ini dapat disebabkan karena luas permukaan dari produk yang berbeda dan jenis bakteri yang bereaksi juga berbeda

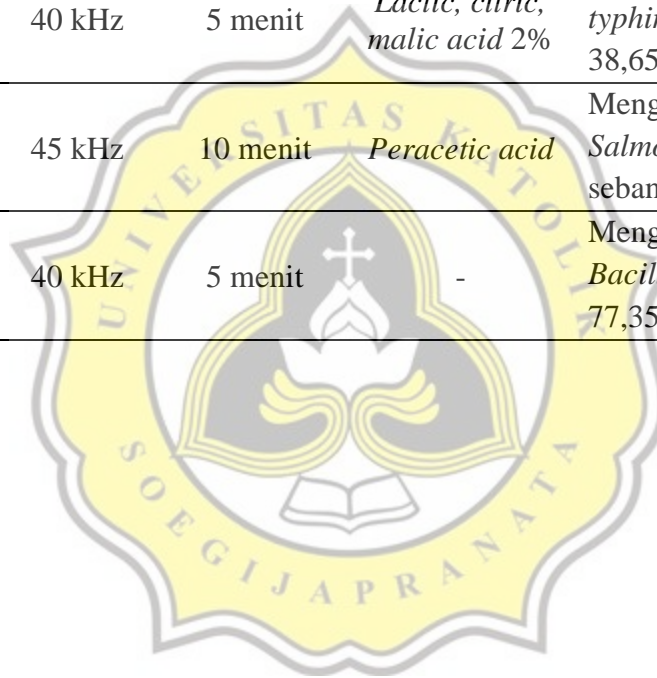
Pada Tabel 8. dapat dilihat bahwa pada jenis sayuran selada dalam mengurangi residu pestisida dengan perlakuan frekuensi 25 kHz dengan menggunakan ozon 50 mg/L selama 60 menit dapat mengurangi residu pestisida *Methamidophos* sebanyak 80% dan residu pestisida *Dichlorvos* sebanyak 67,72%. Pada perlakuan pertama ozon dapat mengurangi residu pestisida dengan jumlah yang cukup banyak. Hal ini disebabkan karena ozon merupakan senyawa yang efektif untuk inaktivasi kontaminan. Pengurangan residu pestisida *Dichlorvos* lebih sedikit dibandingkan dengan *Methamidophos* meskipun berasal dari golongan yang sama. Perbedaan hasil pengurangan pada kedua residu pestisida ini karena pestisida *Dichlorvos* memiliki ikatan kimia yang lebih stabil dibandingkan dengan pestisida *Methamidophos*. Pada jenis sayuran tomat terdapat perlakuan yang berbeda yaitu dengan frekuensi *ultrasound* 38 kHz selama 15 menit dapat mengurangi residu pestisida *Chlorpyrifos* sebanyak 65%. Pada perlakuan *ultrasound* saja dengan waktu yang cenderung lama, residu pestisida dapat dikurangi dengan jumlah yang cukup banyak. Hasil dari Tabel 7 dan Tabel 8 menunjukkan bahwa frekuensi rendah dengan waktu tinggi lebih cocok untuk mengurangi kontaminasi kimiawi.



Tabel 7. Pengurangan Bakteri Dengan Metode *Ultrasound* Pada Sayuran Segar

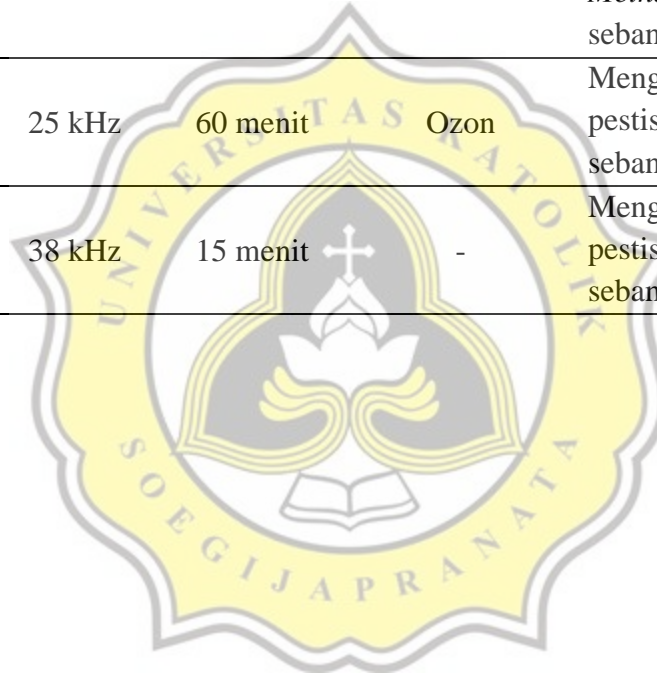
| Jenis sayuran | Densitas daya | Frekuensi | Waktu    | Larutan pembersih                    | Hasil   | Sumber                           |
|---------------|---------------|-----------|----------|--------------------------------------|---|----------------------------------|
| Mentimun      | 400 W/L       | 20 kHz    | 10 menit | -                                    | Mengurangi bakteri <i>E. coli</i> sebanyak 73%            | Fan <i>et al.</i> (2019)         |
| Mentimun      | 400 W/L       | 20 kHz    | 15 menit | -                                    | Mengurangi bakteri <i>E. coli</i> sebanyak 71,80%         | Fan <i>et al.</i> (2019)         |
| Paprika       | 120 W/L       | 35 kHz    | 15 menit | -                                    | Mengurangi bakteri <i>L. innocua</i> sebanyak 67,58%      | Alexandre <i>et al.</i> (2013)   |
| Parsley       | 30 W/L        | 45 kHz    | 10 menit | -                                    | Mengurangi bakteri <i>Listeria sp.</i> sebanyak 78,26%    | São José <i>et al.</i> (2015)    |
| Parsley       | 30 W/L        | 45 kHz    | 10 menit | <i>Chlorine dioxide</i>              | Mengurangi bakteri <i>Listeria sp.</i> sebanyak 84,21%    | São José <i>et al.</i> (2015)    |
| Parsley       | 30 W/L        | 45 kHz    | 10 menit | <i>Peracetic acid</i>                | Mengurangi bakteri <i>Listeria sp.</i> sebanyak 87,48%    | São José <i>et al.</i> (2015)    |
| Selada        | 280 W/L       | 20 kHz    | 53 menit | -                                    | Mengurangi bakteri <i>E. coli</i> O157:H7 sebanyak 74,45% | Elizaquível <i>et al.</i> (2012) |
| Selada        | 30 W/L        | 40 kHz    | 5 menit  | <i>Lactic, citric, malic acid 2%</i> | Mengurangi bakteri <i>E. coli</i> O157:H7 sebanyak 32,30% | Sagong <i>et al.</i> (2011)      |

| Jenis sayuran | Densitas daya | Frekuensi | Waktu    | Larutan pembersih                    | Hasil  | Sumber                        |
|---------------|---------------|-----------|----------|--------------------------------------|--|-------------------------------|
| Selada        | 30 W/L        | 40 kHz    | 5 menit  | <i>Lactic, citric, malic acid 2%</i> | Mengurangi bakteri <i>L. monocytogenes</i> sebanyak 38,93%       | Sagong <i>et al.</i> (2011)   |
| Selada        | 30 W/L        | 40 kHz    | 5 menit  | <i>Lactic, citric, malic acid 2%</i> | Mengurangi bakteri <i>S. typhimurium</i> sebanyak 38,65%         | Sagong <i>et al.</i> (2011)   |
| Tomat         | 30 W/L        | 45 kHz    | 10 menit | <i>Peracetic acid</i>                | Mengurangi bakteri <i>Salmonella typhimurium</i> sebanyak 50,39% | Jackline <i>et al.</i> (2012) |
| Wortel        | 30 W/L        | 40 kHz    | 5 menit  | -                                    | Mengurangi bakteri <i>Bacillus</i> sebanyak 77,35%               | Sagong <i>et al.</i> (2013)   |



Tabel 8. Pengurangan Residu Pestisida Dengan Metode *Ultrasound* Pada Sayuran Segar

| Jenis sayuran | Densitas daya | Frekuensi | Waktu    | Larutan pembersih | Hasil   | Sumber                      |
|---------------|---------------|-----------|----------|-------------------|---|-----------------------------|
| Selada        | 100 W/L       | 25 kHz    | 60 menit | Ozon              | Mengurangi residu pestisida <i>Methamidophos</i> sebanyak 80% | Fan <i>et al.</i> (2015)    |
| Selada        | 100 W/L       | 25 kHz    | 60 menit | Ozon              | Mengurangi residu pestisida <i>Dichlorvos</i> sebanyak 67,72% | Fan <i>et al.</i> (2015)    |
| Tomat         | 40 W/L        | 38 kHz    | 15 menit | -                 | Mengurangi residu pestisida <i>Chlorpyrifos</i> sebanyak 65%  | Iizuka <i>et al.</i> (2013) |



#### 4.2.3.2. Sayuran Segar yang Diproses Lebih Lanjut

Pada Tabel 9. dapat dilihat bahwa pada jenis sayuran bayam terdapat 2 perlakuan yang berbeda yaitu dengan frekuensi *ultrasound* 25kHz dengan menggunakan 50 mg/L *chlorine water* selama 1 menit dapat mengurangi bakteri *E. coli* sebanyak 56,76% dan perlakuan lainnya yaitu dengan frekuensi *ultrasound* 40 kHz dengan menggunakan 22 mg/L HCl 6% selama 3 menit dapat mengurangi bakteri *E. coli* sebanyak 43,82% dan bakteri *L. monocytogenes* sebanyak 38,91%. Kedua perlakuan ini terdapat perbedaan yaitu pada frekuensi dan waktu yang lebih singkat menghasilkan pengurangan bakteri *E. coli* yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan frekuensi yang lebih tinggi dan waktu yang lebih lama. Hal ini mungkin dikarenakan pengaruh larutan pembersih yang digunakan. Larutan pembersih dengan bahan dasar klorin sudah dikenal memiliki inaktivasi mikroba yang tinggi. Perbedaan jumlah pengurangan antara bakteri *E. coli* dengan bakteri *L. monocytogenes* juga adanya kemungkinan disebabkan karena struktur sel yang terkandung di dalam masing-masing bakteri berbeda, sehingga pengaruh HCl pada masing-masing bakteri juga berbeda.

Pada jenis sayuran sawi putih terdapat perlakuan yang sama yaitu dengan 40 kHz dengan menggunakan 100 mg/L NaOCl selama 15 menit dapat mengurangi bakteri *Listeria sp.* sebanyak 41,87% dan 35,87%. Perbedaan pengurangan kontaminasi ini dimungkinkan dapat dipengaruhi oleh volume air meskipun perlakuannya sama. Pada pengurangan 41,87% memiliki volume air sebanyak 5 L sedangkan pengurangan 35,87% memiliki volume air sebanyak 3 L. Volume air ini dapat menghasilkan perbedaan pengurangan kontaminasi karena air merupakan perantara gelombang *ultrasound* yang kemudian dapat berubah menjadi kavitasi. Jenis sayuran wortel terdapat 1 perlakuan yaitu dengan frekuensi *ultrasound* 40 kHz selama 5 menit dapat menghilangkan bakteri *Bacillus* sebanyak 77,35%. Hasil ini membuktikan bahwa dengan perlakuan *ultrasound* saja dapat mengurangi kontaminasi bakteri yang cukup banyak. Tentunya hal ini juga dipengaruhi oleh luas produk dan juga jenis bakteri yang terdapat dalam bahan pangan tersebut. Pada hasil Tabel 9 juga menunjukkan hasil bahwa frekuensi rendah dengan waktu yang tinggi lebih cocok untuk mengurangi kontaminasi residu pestisida.

#### 4.2.4. Luas Permukaan

Metode sanitasi menggunakan *ultrasound* juga perlu memperhatikan massa dari bahan pangan tersebut agar saat metode dilakukan hasil yang didapatkan dapat maksimal. Massa dari sayuran dapat dipengaruhi oleh jenis sayurannya juga. Jika jenis sayuran mempunyai ukuran yang kecil seperti misalnya dedaunan maka jumlah sayuran bisa lebih banyak. Untuk volume dari air dan larutan pembersih juga disesuaikan dengan massa sayuran tersebut agar sayuran tidak mengalami reaksi yang berlebihan. Larutan bahan kimia sanitasi dalam proses ini lebih baik digunakan dalam konsentrasi yang rendah agar meminimalisir kerusakan produk. Reaksi yang sering terjadi adalah seperti penghilangan warna pada produk, kandungan dan juga vitamin di dalam produk tersebut. Pada beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa massa dari sayuran tidak berpengaruh pada pengurangan kontaminasi. Tetapi pada perbedaan volume air yang digunakan menunjukkan hasil yang berbeda dalam persentase pengurangan kontaminan. Semakin besar volume air maka semakin tinggi persentase pengurangan kontaminan karena air menjadi media pengantar kavitasi. Jenis sayuran dengan luas permukaan yang tinggi berpengaruh pada pengurangan kontaminasi biologi, kimia dan fisika. Luas permukaan yang tinggi lebih mudah berinteraksi karena kavitasi yang menghantam produk lebih merata dibandingkan dengan luas permukaan yang lebih kecil (Sagong *et al.*, 2013).

Tabel 9. Pengurangan Bakteri Dengan Metode *Ultrasound* Pada Sayuran Segar yang Diproses Lebih Lanjut

| Jenis sayuran | Densitas daya | Frekuensi | Waktu    | Larutan pembersih | Hasil   | Sumber                          |
|---------------|---------------|-----------|----------|-------------------|---|---------------------------------|
| Bayam         | 79,41 W/L     | 25 kHz    | 1 menit  | Chlorine water    | Mengurangi bakteri <i>E. coli</i> sebanyak 56,76%                 | Zhou <i>et al.</i> (2012)       |
| Bayam         | 400 W/L       | 40 kHz    | 3 menit  | HCl 6%            | Mengurangi bakteri <i>E. coli</i> sebanyak 43,82%                 | Forghani <i>et al.</i> (2013)   |
| Bayam         | 400 W/L       | 40 kHz    | 3 menit  | HCl 6%            | Mengurangi bakteri <i>L. monocytogenes</i> sebanyak 38,91%        | Forghani <i>et al.</i> (2013)   |
| Sawi putih    | 120 W/L       | 40 kHz    | 15 menit | NaOCl             | Mengurangi bakteri <i>Listeria sp.</i> sebanyak 41,87% dan 35,87% | Alenyorege <i>et al.</i> (2019) |
| Wortel        | 30 W/L        | 40 kHz    | 5 menit  | -                 | Mengurangi bakteri <i>Bacillus</i> sebanyak 77,35%                | Sagong <i>et al.</i> (2013)     |