

## **Pengaruh Pasteurisasi Non-Thermal Metode UV dan Ozon Terhadap Sifat Mikrobiologi dan Organoleptik Susu Segar**

*Effect of Non-Thermal Pasteurization Using UV and Ozone Methods on Microbiological and Organoleptic Properties of Fresh Milk*

**W. Suryaningsih<sup>#1</sup>, Supriono, B Hariono, T. Budiati**

<sup>#</sup>Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember, Jl. Mastrip. Po Box 163 dan Jember

<sup>1</sup>wahyu\_surya@polije.ac.id

### **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan mengetahui sifat mikrobiologis, laju inaktivasi bakteri E Coli dan Bacillus, sp. dan sifat organoleptik susu segar pasteurisasi non termal metode Ultraviolet (UV) dan ozon. Metodologi penelitian menggunakan rancangan acak lengkap factorial, yaitu waktu penyinaran UV 3, 6, dan 9 menit dan waktu pemaparan ozon 1,3 dan 5 menit, Penentuan laju inaktivasi bakteri menggunakan analisis regresi linier. Hasilnya menunjukkan bahwa pasteurisasi non-termal metode UV dan ozon mampu menonaktifkan bakteri E. coli dan bacillus, sp. Nilai laju inaktivasi bakteri E. coli lebih tinggi dibandingkan bakteri Bacillus, sp. Pasteurisasi metode UV dan UV-ozon menghasilkan model laju inaktivasi bakteri E. coli ( $\mu$ ) = 0,006 ln CFU/menit, model kinetika  $Y = -0,006x + 0,1383$  dengan  $R^2 = 0,0577$ . Sedangkan laju inaktivasi bakteri Bacillus sp ( $\mu$ ) = 0,0002 ln CFU/menit, model kinetika  $Y = -0,002x + 0,0566$  dengan  $R^2 = 0,0006$ . Nilai D bakteri E Coli dan Bacillus sp terendah pada pasteurisasi non-termal kombinasi penyinaran UV 6 menit dengan paparan ozon 5 menit. Pasteurisasi non-termal UV-ozon tidak mempengaruhi sifat organoleptik susu sapi, memiliki warna putih cerah, bau khas susu, bau ozon lemah, konsistensi cair yang homogen. Sifat organoleptik susu pasteurisasi non-termal menggunakan metode UV dan ozon sama dengan susu segar

**Kata kunci** — pasteurisasi non thermal, ozonisasi, susu, ultraviolet

### **ABSTRACT**

*This study aims to determine the microbiological properties, the rate of inactivation of bacteria E Coli and Bacillus, sp. and organoleptic properties of non-thermal pasteurized fresh milk Ultraviolet (UV) and ozone methods. The research methodology used a factorial completely randomized design, namely UV irradiation time of 3, 6, and 9 minutes and ozone exposure time of 1.3 and 5 minutes. The determination of the rate of bacterial inactivation used linear regression analysis. The results showed that UV and ozone non-thermal pasteurization was able to inactivate E. coli and bacillus, sp. The value of the inactivation rate of E. coli bacteria was higher than that of Bacillus, sp. Pasteurization of UV and UV-ozone methods resulted in the inactivation rate model of E. coli bacteria ( $\mu$ ) = 0.006 ln CFU/min, the kinetic model  $Y = -0.006x + 0.1383$  with  $R^2 = 0.0577$ . While the rate of inactivation of Bacillus sp bacteria ( $\mu$ ) = 0.0002 ln CFU/minute, the kinetic model  $Y = -0.002x + 0.0566$  with  $R^2 = 0.0006$ . The lowest D value of E Coli and Bacillus sp bacteria was in the non-thermal pasteurization combination of 6 minutes UV irradiation with 5 minutes of ozone exposure. UV-ozone non-thermal pasteurization does not affect the organoleptic properties of cow's milk, has a bright white color, characteristic milky odor, weak ozone odor, homogeneous liquid consistency. The organoleptic properties of non-thermal pasteurized milk using UV and ozone methods are the same as fresh milk.*

**Keywords** — milk, non thermal pasteurization, ozonization, ultraviolet

 **OPEN ACCESS**

© 2022. W. Suryaningsih, Supriono, B Hariono, T. Budiati



Creative Commons  
Attribution 4.0 International License

## 1. Pendahuluan

Susu merupakan bahan pangan sumber protein hewani yang penting dalam mencukupi kebutuhan gizi masyarakat. Susu merupakan komoditas ekonomi yang tinggi dan mempunyai nilai sangat strategis. Susu mempunyai kandungan gizi tinggi, dengan zat nutrisi utamanya adalah air, lemak, serta padatan susu non lemak (Solid Non Fat/SNF) yang terdiri atas protein, laktosa, vitamin dan mineral.

Susu segar mudah rusak, karena mengandung mikroba pembusuk dan pathogen yang dapat menimbulkan penyakit. Beberapa bakteri patogen penyebab utama keracunan dalam susu adalah *Salmonella* sp, *Staphylococcus*, dan *Escherichia coli* [1]. Kejadian luar biasa keracunan karena *Salmonella* (*salmonellosis*) masih terjadi di banyak negara. Survey terhadap susu segar di USA dan di Inggris ditemukan *Salmonella* secara berturut-turut sebesar 4,7% dan 0,06% [2].

Jaminan keamanan produk susu segar perlu mendapat perhatian khusus terkait dengan kepercayaan masyarakat akan khasiatnya bagi kesehatan yang dikonsumsi dalam keadaan segar. Kualitas susu segar memiliki kandungan bakteri diantaranya *Staphylococcus* spp, dan coliform dengan prevalensi konsumen masing-masing 78,7 %, 37,7 %, 66% dan 46,3%. Adanya bakteri patogen pada susu kambing segar dapat menyebabkan susu menjadi tidak layak untuk dikonsumsi dan membahayakan konsumen.

Penanganan susu segar untuk memperpanjang umur simpan dan agar aman dikonsumsi dilakukan dengan sistem pemanasan. Pemanasan merupakan cara umum yang dilakukan untuk membunuh bakteri patogen sehingga dihasilkan susu yang aman untuk dikonsumsi. Sistem pemanasan yang diaplikasikan pada susu yaitu proses pasteurisasi dan sterilisasi tidak hanya membunuh mikroorganisme berbahaya, tetapi juga mengakibatkan perubahan citarasa susu, adanya cooked flavor, perubahan konsistensi serta kehilangan dan penurunan sebagian vitamin dan protein. Senyawa protein susu sangat mudah terkoagulasi pada suhu pemanasan tinggi, yang menyebabkan sifat emulsinya rusak sehingga menyebabkan konsistensi susu pecah. Lebih

lanjut dapat penurunan kandungan nutrisi susu, terutama komponen yang tidak tahan panas seperti protein, vitamin dan senyawa fungsional lain yang ditengarai berguna bagi kesehatan.

Cara lain untuk menginaktivasi bakteri patogen tanpa merusak komposisi kimia susu dan meminimaliasi penurunan kualitas dan nutrisi, serta sifat organoleptiknya dapat dilakukan menggunakan proses pasteurisasi non thermal.

Ultra violet (UV) terbukti mampu membunuh bakteri, jamur dan virus [3]. Saat ini telah banyak digunakan sebagai sterilisasi non thermal untuk menginaktivasi mikroba bahan pangan. Sensitivitas sinar UV pada mikroba sangat efektif jika diberikan pada makanan berbentuk cairan. Mekanisme inaktivasi mikroba oleh sinar UV dengan cara merusak asam nukleat sehingga mencegah replikasi mikroba. Inti sel dikomposisi oleh rantai ganda DNA [1]. DNA mengandung informasi yang diperlukan untuk sintesis ribosomal, transfer dan messenger RNA, yang bertanggungjawab pada proses sintesis dalam sel.

Lebih lanjut dijelaskan bahwa asam nukleat mengabsorpsi sinar UV pada kisaran panjang gelombang 200 sampai 310 nm. Pemusnahan mikroba dengan sinar UV dengan cara mengganggu struktur DNA dan RNA sehingga terjadi 6 jenis kerusakan. Kerusakan pertama diawali dengan pembentukan dimmer pirimidin, yaitu dengan membentuk ikatan antara pasangan timin atau sitosin-pirimidin yang berdekatan pada untai DNA atau RNA yang sama. Dimmer ini mencegah mikroba bereplikasi sehingga membuat mereka tidak aktif dan mampu menginfeksi.

Penggunaan lampu UV panjang gelombang 254 nm menunjukkan penyerapan sinar UV secara maksimum oleh asam nukleat. Akan tetapi kerusakan asam nukleat masih memungkinkan sel untuk melakukan metabolisme, karena beberapa enzim mampu memperbaiki kerusakan yang terjadi pada asam nukleat. Hal ini memungkinkan mikroba untuk aktif lagi setelah terpapar UV [1]. Perbaikan dalam desinfeksi air oleh sinar UV dengan memberikan dosis cukup tinggi untuk memastikan bahwa asam nukleat rusak dan mikroba tidak aktif kembali. Penggunaan lampu merkuri ultra violet (LPMUV) pada panjang gelombang antara 260-265 mn efektif sebagai



biosidal, sedangkan pada panjang gelombang 254 nm efektif sebagai desinfektan. Metode penghitungan dosis UV pada lampu LPMUV tergantung pada panjang gelombang UV, spektra sinar, konsentrasi cairan bahan pangan dan jenis mikroba yang akan diinaktifkan menyebabkan terurainya asam lemak dan membran sel dan sel makromolekul, seperti protein dan DNA [1]. Efektivitas UV tergantung pada berbagai faktor seperti karakteristik mikroba dan komposisi makanan [4]. Efektivitas UV dalam menginaktivasi *Cryptosporidium parvum* dalam cider apel. *E. Coli* O157:H57 mampu berkurang sampai 3,8 log-siklus. Yeast dan fungi mampu berkurang 5-log siklus dengan penyinaran UV pada dosis tinggi dan tekanan rendah. Tingkat inaktivasi mikroba oleh radiasi UV secara langsung berhubungan dengan dosis yang diaplikasikan pada makanan. Pengolahan radiasi UVC makanan tergantung pada berbagai faktor seperti parameter operasional peralatan UVC, karakteristik mikroba, dan komposisi makanan

Faktor utama yang menunjukkan efektivitas adalah desain reaktor dan mekanika fluida dan absorpsivitasnya. Partikel yang terabsorpsi dan tersuspensi banyak ditemukan pada air limbah, tidak sama dengan yang ditemukan dalam sari buah. Efektivitas UV pada sari buah dipengaruhi oleh kisaran pH dan tinggi kandungan gulanya.

Metode lain yang banyak digunakan selain UV adalah ozonisasi. Penggunaan ozon sebagai antimikroba di udara, efektivitasnya meningkat pada kelembaban udara yang relatif tinggi. Prinsip ozon adalah mengoksidasi sel plasma dan berpotensi menggantikan teknik dekontaminasi konvensional dalam industri makanan [5]. Selain itu kinerja ozon sebagai zat antimikroba juga dipengaruhi oleh tipe organisme, konsentrasi ozon. Bakteri gram positif lebih peka terhadap ozon dari pada bakteri gram negatif. Suhu, RH, pH, kekeruhan, adanya bahan-bahan yang dapat teroksidasi ozon mempunyai kecenderungan membentuk gumpalan. Ozon secara aktif menghancurkan spora bakteri dan jamur [5]

Pasteurisasi metode *UV-OZON* merupakan langkah inovasi pada proses pengawetan susu. Kombinasi *UV* dan *OZON* sebagai alat pasteurizer didasarkan pada kinerja *UV* dan *OZON* dalam menginaktivasi mikroba. Metode Aplikasi *UV* dengan dosis 20 mJ/cm<sup>2</sup> mampu

menginaktivasi *Listeria monocytogenes* pada susu kambing sebesar 5 log-siklus, sedangkan aplikasi ozon pada susu kambing dengan konsentrasi 75 µg/ml dengan laju aliran 0,12 l/menit dicapai inaktivasi *E. coli* sebesar 5 log-siklus. Pasteurisasi non thermal metode *UV-OZON* diharapkan secara signifikan menginaktivasi mikroba patogen sehingga dan memenuhi permintaan susu segar yang ASUH. Penelitian ini bertujuan untuk:

- Mengetahui sifat mikrobiologis yaitu laju inaktivasi bakteri *E. coli* dan bakteri *Bacillus, sp* dalam susu segar proses pasteurisasi non thermal metode UV dan Ozon
- Mengetahui sifat organoleptik susu pasteurisasi non thermal metode UV dan ozon

## 2. Metode

Penelitian ini menggunakan lampu UV tipe C 30-watt dan Generator ozon model OZ-5G. Metodologi penelitian untuk mengetahui sifat mikrobiologis dan sensori susu segar yang dipasteurisasi non thermal metode UV dan ozon menggunakan eksperimen disain dengan perlakuan A. Lama pemaparan UV pada taraf 3 menit, 6 dan 9 menit; B. Lama pemaparan Ozon, pada taraf 1, 3 dan 5 menit. Untuk mengetahui sifat organoleptik susu menggunakan rancangan acak lengkap pola factorial dengan 3 ulangan, dengan model matematika  $Y_{ijk} = \mu + P_i + Y_j + PY_{ij} + \epsilon_{ij}$ . Pengujian statistik meliputi pengujian keragaman (*Analysis of Variance*) dengan uji F dan Uji statistik beda lanjut menggunakan uji Beda nyata Jujur (BNJ). Sedangkan untuk mengetahui sifat mikrobiologis susu dan laju inaktivasi bakteri dilakukan menggunakan persamaan regresi linier dengan model persamaan:  $Y = a + bX$

Tahapan pelaksanaan penelitian sebagai berikut: susu segar dikontaminasikan oleh bakteri *E. coli* atau bakteri *Bacillus, sp* dengan konsentrasi 1 juta sel. Selanjutnya susu segar dipasteurisasi non thermal menggunakan UV dan Ozon dengan berbagai lama paparan uv dan ozon. Sebelumnya alat pasteurisasi non thermal menggunakan UV dan ozon terlebih dahulu di sterilisasi dengan mengalirkan air panas kedalam tabung UV dan Ozon. Susu dimasukkan dalam bak penampung, kemudian dialirkan ke tabung



UV dengan cara membuka kran penghubung. Selanjutnya lampu UV dihidupkan sesuai dengan perlakuan (3, 5 dan 9 menit).

Susu yang telah dipasteurisasi non thermal dengan UV, dialirkan ke dalam tabung Ozon dengan membuka kran penghubung. Susu akan mengalir kedalam tabung ozon sampai penuh dan ditutup krannya. Alat pembangkit ozon dihidupkan dan gas ozon yang terbentuk dialirkan ke tabung ozon yang berisi susu tersebut sesuai perlakuan (1, 3 dan 5 menit). selanjutnya kran yang berada di salah satu ujung tabung ozon dibuka agar ozon mengalir keluar. Susu yang telah dipasteurisasi UV dan Ozon ditampung ke dalam botol steril dan ditutup. Untuk mencegah kontaminasi pada ujung kran pengeluaran disemprot dengan alcohol dan udara disekitarnya dipanasi menggunakan bunsen.

Parameter pengamatan meliputi total bakteri *E. coli* dan Bakteri *Bacillus, sp.* Dengan metode total plate count (TPC) dan sifat organoleptik meliputi warna, bau dan konsistensi menggunakan mutu hedonik (Tabel I) dan uji beda dengan perbandingan jamak (Tabel II).

Tabel 1. Kriteria Mutu Hedonik Susu Pasteurisasi NonThermal Metode UV dan Ozon

Kriteria			
Warna (Putih)	Bau (Ozon)	Bau (khas Susu)	Konsistensi (cair)
1.gelap	1. tidak berbau	1.lemah	1.pecah
2.agak gelap	2.agak berbau	2.agak kuat	2. sedikit pecah
3.cukup cerah	3.cukup berbau	3.cukup kuat	3.agak homogen
4. cerah	4. berbau	4. kuat	4. cukup homogen
5.sangat cerah	5. sangat berbau	5.sangat kuat	5. homogen

Tabel 2. Kriteria Uji Pembeda Perbandingan Jamak Susu Pasteurisasi Non-Thermal Metode UV dan Ozon

Kriteria			
Warna	Bau	Bau	Konsistensi
1.Lebih jelek	1.Lebih jelek	1.Lebih jelek	1.Lebih jelek
2.Agak lebih jelek	2.Agak lebih jelek	2.Agak lebih jelek	2.Agak lebih jelek
3.Sama	3.Sama	3.Sama	3.Sama
4.Agak lebih baik	4.Agak lebih baik	4.Agak lebih baik	4.Agak lebih baik
5.Lebih baik	5.Lebih baik	5.Lebih baik	5.Lebih baik

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Sifat Mikrobiologi Susu Pasterurisasi Non-Thermal

##### 3.1.1. Bakteri *E. coli*

Hasil analisa jumlah bakteri *E. coli* susu sapi segar berjumlah  $3,8 \times 10^6$ , dan setelah dilakukan pasteurisasi non thermal menggunakan UV pada berbagai lama paparan selama 3, 6 9 menit dan dikombinasikan ozonisasi selama 1, 3 dan 5 menit terjadi penurunan jumlah bakteri *E. coli* sebesar  $1,3 \times 10^5$  seperti yang terlihat pada Gambar 1 dan Tabel III.



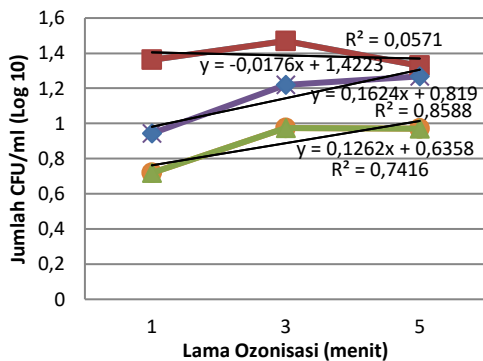
Gambar 1. Pengujian Bakteri *E. Coli*

Tabel 3. Jumlah Bakteri *E Coli* dalam susu pasteurisasi non thermal menggunakan Metode UV dan Ozon

Pasteurisasi Non-Thermal	Jumlah Bakteri <i>E. coli</i> (CFU/ml)		
	Paparasi Ozon (menit)		
	1	5	3

Paparan Ultra Violet/UV (menit)	3	$4,4 \times 10^5$	$2,3 \times 10^5$	$3,4 \times 10^5$
Susu Segar	6	$1,7 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$1,4 \times 10^5$
	9	$7,3 \times 10^5$	$4,1 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$
	0	$8,6 \times 10^6$	$8,7 \times 10^6$	$8,6 \times 10^6$

Perhitungan kecepatan penurunan jumlah bakteri *E. coli* pada susu perlakuan pasteurisasi non thermal menggunakan UV selama 3 menit yang dikombinasikan dengan berbagai lama ozonisasi sebesar  $0,1624\ln(x)+0,819$ , lama penyinaran UV 6 menit sebesar  $-0,0176\ln(x)+1,4223$ , dan penyinaran UV selama 9 menit sebesar  $0,1262\ln(x)+0,6358$  seperti yang terlihat pada Gambar 2.



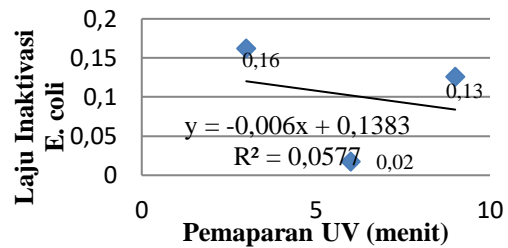
Gambar 2. Kecepatan Penurunan Jumlah Total Bakteri *E. coli* dalam susu pasteurisasi non thermal UV dan Ozon

Gambar 2. menunjukkan bahwa lama penyinaran UV dengan berbagai lama ozonisasi menghasilkan persamaan inaktivasi yang berbeda-beda. Proses inaktivasi bakteri *E. coli* dengan UV didasarkan pada kemampuan sinar UV yang terserap oleh mikroorganisme hingga mencapai DNA/RNA mikroorganisme, sehingga menyebabkan terurainya DNA mikroorganisme tersebut.

Proses inaktivasi mikrobial dengan ozon didasarkan pada daya oksidasinya yang sangat kuat, sehingga menyebabkan terurainya asam lemak, membran sel, protein dan DNA. Ozon mampu membunuh berbagai macam mikroorganisme seperti bakteri *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*, serta berbagai bakteri patogen lainnya. Konsentrasi ozon gas ozon yang dialirkan ke dalam bahan berbentuk cairan lebih tinggi, yang memberi keefektifan dengan gelembung dibandingkan dengan perlakuan

celup. Oleh karena itu, gelembung ozon yang selalu digunakan untuk aplikasi ozon.

Kinetika inaktivasi bakteri *E. coli* untuk susu yang telah mengalami pasteurisasi dengan kombinasi perlakuan lama penyinaran UV dan ozonisasi menunjukkan kematian dengan laju inaktivasi bakteri *E. coli* ( $\mu$ ) =  $0,006 \ln$  CFU/menit dengan model kinetika  $Y = -0,006x + 0,1383$  dengan  $R^2 = 0,0577$ , seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Laju inaktivasi bakteri *E. coli* susu pasteurisasi non thermal metode UV dan ozon

Pengaruh lama penyinaran UV terhadap reduksi bakteri *E. coli* sesuai dengan konsep desinfeksi ultraviolet. Semakin besar daya yang digunakan dan semakin lama waktu pemaparan maka semakin tinggi dosis dan efek germisidal yang dihasilkan [6].

### 3.1.2. Bakteri *Bacillus sp*

Hasil Analisa jumlah bakteri *Bacillus, sp* pada susu sapi pasteurisasi non thermal dengan lama penyinaran UV (A) menunjukkan jumlah bakteri *Bacillus sp* awal sebanyak  $8650000$  ( $8,65 \times 10^6$ ), setelah mengalami penyinaran UV selama 3 menit dan ozonisasi selama 1 menit (A1B1) jumlahnya mencapai  $2416666$  ( $2,42 \times 10^6$ ). Sedangkan setelah mengalami penyinaran UV 3 menit dan ozonisasi selama 3 menit jumlah mikroba awal mengalami penurunan menjadi  $3520000$  ( $3,52 \times 10^6$ ). Untuk lebih jelasnya lihat pada Gambar 4 dan Tabel IV

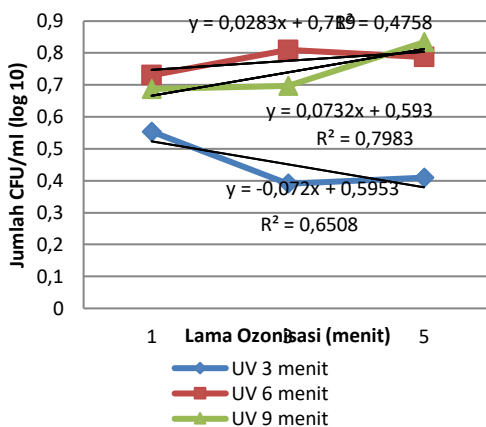


Gambar 4. Pengujian Bakteri *Bacillus, sp*

Tabel 4. Jumlah Bakteri *Bacillus, Sp.* dalam susu pasteurisasi non thermal menggunakan Metode UV dan Ozon

Pasterurisasi	Jumlah Mikroba (CFU/ml)			
	Non-Thermal	Paparan Ozon (menit)		
		1	5	3
Paparan Ultra Violet/ UV (menit)	3	2,4x10 <sup>6</sup>	3,5x10 <sup>6</sup>	3,3 x10 <sup>6</sup>
	6	1,6x10 <sup>6</sup>	1,7x10 <sup>6</sup>	1,4 x10 <sup>6</sup>
	9	1,7x10 <sup>6</sup>	1,3x10 <sup>6</sup>	1,2 x10 <sup>6</sup>
Susu Segar	0	8,7x10 <sup>6</sup>	8,5 x10 <sup>6</sup>	8,6x10 <sup>6</sup>

Hasil Perhitungan kecepatan jumlah total bakteri *Bacillus sp* menunjukkan bahwa perlakuan lama penyinaran UV selama 3 menit sebesar  $-0,072\ln(x)+0,5953$ , perlakuan lama penyinaran UV selama 6 menit sebesar  $0,0283\ln(x)+0,719$ , sedangkan perlakuan lama penyinaran UV selama 9 menit sebesar  $0,0732\ln(x)+0,593$  seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Kecepatan Penurunan Jumlah Total Bakteri *Bacillus sp* dalam susu pasterisasi metode termal UV dan ozon

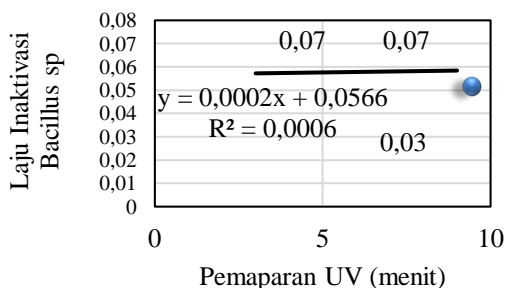
Radiasi UV menyebabkan modifikasi kimiawi dari *nucleoprotein* serta menimbulkan hubungan silang antara pasangan-pasangan molekul timin. Hubungan ini dapat menyebabkan salah baca dari kode genetik yang akan menghasilkan mutasi, sehingga akan merusak atau melemahkan fungsi-fungsi vital mikroorganisme dan kemudian membunuhnya.

Penonaktifan melibatkan penghancuran aktivitas biologis sel mikroba seperti menginduksi perubahan pada komponen struktural sel yang menyebabkan kematian sel melalui perubahan permeabilitas sel dan lisis sel dan dengan mengubah kemampuan sel untuk membelah dan dengan demikian bereproduksi. Kerusakan ozon mengakibatkan pecahnya membran sel, menghambat mekanisme reaktivasi seluler, dan mengoksidasi asam lemak tak jenuh, asam lemak lipid, glikoprotein, glikolipid, asam amino, gugus sulfhidril dari enzim tertentu, cincin fenolik, dan asam nukleat [5]

Ozon telah terbukti membunuh bakteri Gram positif *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Enterococcus*, dan Gram-negatif *Pseudomonas aeruginosa* dan *Yersinia enterocolitica*; *Escherichia coli* adalah salah satu yang paling sensitif terhadap kerusakan ozon, sedangkan kokus Gram-positif yaitu *Staphylococcus* dan *Streptococcus*, *Bacillus* dan mikobakteri yang paling tahan terhadap kerusakan ozon [5]

Kekuatan oksidasi ozon dapat merusak membrane sel, dinding bagian luar sel mikroorganisme (*cell lysis*) dan juga dapat membunuhnya. Ketika ozon kontak dengan bakteri, satu atom oksigen akan melepaskan diri dan mengoksidasi pelindung protein bagian luar, yaitu phospholipid dan lipoprotein dari bakteri tersebut, kemudian atom oksigen yang lain akan berubah menjadi gas oksigen. Bakteri dapat dihancurkan akibat adanya kebocoran pada sitoplasma [5]. Bakteri berspora memiliki tingkat ketahanan yang lebih tinggi dibandingkan bakteri tidak berspora, misalnya bakteri *Bacillus sp* sebagai bakteri spora memiliki tingkat ketahanan 5 kali daripada bakteri *E. coli*.

Kinetika inaktivasi bakteri *Bacillus sp* untuk susu pasteurisasi non termal metode UV dan ozon menunjukkan kematian dengan laju inaktivasi bakteri *Bacillus sp* ( $\mu$ ) = 0,0002 ln CFU/menit dengan model kinetika  $Y = -0,002x + 0,0566$  dengan  $R^2 = 0,0006$ , terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Laju Inaktivasi bakteri *Bacillus sp* susu pasteurisasi metode termal UV dan ozon

Gambar 6, menunjukkan laju inaktivasi bakteri *Bacillus sp* perlakuan lama pemaparan UV. kecepatan inaktivasi bakteri *Bacillus sp* selama pemaparan UV 3 menit mencapai 0,07, pemaparan 6 menit mencapai 0,03, dan pemaparan UV selama 9 menit mencapai 0,07.

Jika dibandingkan antara gambar 2 dan gambar 4, akan menunjukkan bahwa nilai laju kecepatan dalam menginaktivasi bakteri *E. coli* lebih besar daripada bakteri *Bacillus sp*. Bakteri *Bacillus sp* merupakan bakteri gram positif yang berspora, sehingga memiliki ketahanan dalam mempertahankan diri karena terbungkus oleh spora yang dihasilkan. Bila dibandingkan laju inaktivasi antara bakteri *E. coli* dengan bakteri *Bacillus sp* dapat diketahui bahwa koefisien inaktivasi ( $\mu$ ) bakteri *Bacillus sp* lebih kecil daripada bakteri *E. coli*. Nilai koefisien yang kecil menunjukkan rendahnya sensitivitas mikroba terhadap pemaparan UV, dari data tersebut dapat diketahui bahwa bakteri *E. coli* lebih mudah diinaktivasi daripada bakteri *Bacillus sp*. Semakin mudah bakteri diinaktivasi maka ketebalan dinding sel bakteri tersebut semakin rendah [7]. Bakteri Gram negatif lebih sensitif terhadap perlakuan UV daripada bakteri Gram positif

### 3.1.3. Nilai D Bakteri *E. coli* dan *Bacillus, sp*

Nilai D bakteri *E. coli* dan *Bacillus sp* susu yang dipasteurisasi non thermal metode UV dan ozon disajikan pada Tabel V.

Perhitungan nilai D pada memiliki 4 titik yang dimulai pada menit 0, menit 1, menit 3 dan menit 5. Nilai D bertujuan untuk mengukur ketahanan UV dan Ozon pada pasteurisasi non termal susu, adalah waktu menit pada paparan ozon tertentu yang diperlukan untuk

menghancurkan satu siklus logaritmik (90%) dari populasi mikroba target dalam susu. Nilai-D menentukan kurva kelangsungan hidup mikroba ketika logaritmik (log.) populasi mikroorganisme diplot terhadap waktu [8].

Tabel 5. Nilai D Laju kematian bakteri *E. coli* dan *Bacillus sp* oleh UV dan Ozon

Perlakuan	Log no	t (menit)	Log Nt	Nilai D (menit)
<b>Bakteri <i>E. coli</i></b>				
UV 0 & Ozon 1	6.584	0	6.584	1.00
UV 0 & Ozon 3	6.584	1	6.431	0.87
UV 0 & Ozon 5	6.431	2	6.302	0.70
UV 3 & Ozon 0	6.302	2	6.335	0.68
UV 3 & Ozon 1	5.695	0	5.695	1.00
UV 3 & Ozon 3	5.695	2	5.640	0.66
UV 3 & Ozon 5	5.640	2	5.364	0.68
UV 6 & Ozon 0	5.315	2	5.315	0.62
UV 6 & Ozon 1	5.415	0	5.415	1.00
UV 6 & Ozon 3	5.415	1	5.220	0.85
UV 6 & Ozon 5	5.220	2	5.113	0.63
UV 9 & Ozon 0	5.114	2	5.255	0.59
UV 9 & Ozon 1	5.295	0	5.295	1.00
UV 9 & Ozon 3	5.295	1	5.865	0.73
UV 9 & Ozon 5	5.865	2	5.609	0.69
UV 0 & Ozon 1	5.609	2	5.612	0.64
<b>Bakteri <i>Bacillus sp</i></b>				
Kontrol	6.937	0	6.937	1.00
UV 0 & Ozon 1	6.937	1	6.675	0.89

UV 0 & Ozon 3	6.675	2	6.976	0.68
UV 0 & Ozon 5	6.976	2	6.162	0.81
UV 3 & Ozon 0	6.321	0	6.321	1.00
UV 3 & Ozon 1	6.321	2	6.383	0.68
UV 3 & Ozon 3	6.383	2	6.547	0.67
UV 3 & Ozon 5	6.547	2	6.527	0.70
UV 6 & Ozon 0	6.225	0	6.225	1.00
UV 6 & Ozon 1	6.225	1	6.207	0.84
UV 6 & Ozon 3	6.207	2	6.127	0.69
UV 6 & Ozon 5	6.127	2	6.150	0.67
UV 9 & Ozon 0	6.239	0	6.239	1.00
UV 9 & Ozon 1	6.239	1	6.251	0.84
UV 9 & Ozon 3	6.251	2	6.240	0.68
UV 9 & Ozon 5	6.240	2	6.103	0.69

Hasil analisa regresi pada Tabel V, menunjukkan semakin lama waktu pemaparan menghasilkan nilai D semakin kecil, berarti laju kematian semakin cepat. Nilai D pada setiap waktu perlakuan yang sama dari bakteri *E. coli* nilainya lebih kecil daripada bakteri *Bacillus sp.* Perbedaan ini terlihat pada perlakuan lama paparan ozon 5 menit menghasilkan nilai D bakteri *E. coli* sebesar 0,68 menit, sedangkan nilai D bakteri *Bacillus sp* sebesar 0,81 menit. Pada perlakuan yang lain seperti pada perlakuan UV 6 menit dan ozon 5 menit menghasilkan nilai D bakteri *E. coli* sebesar 0,59 menit, sedangkan nilai D bakteri *Bacillus sp* sebesar 0,67 menit. Perbedaan nilai D dapat disebabkan karena perbedaan jenis mikroba. Bakteri *E. coli* termasuk kelompok Gram negatif, sedangkan bakteri *Bacillus sp* termasuk bakteri gram positif. Kedua jenis bakteri tersebut mempunyai sifat struktur dan sifat karakteristik fisiologi dan metabolisme yang berbeda sehingga

memperlihatkan perbedaan laju kematian bila diberikan perlakuan dengan penyinaran UV dan ozon pada waktu yang sama [3].

### 3.2. Sifat Organoleptik Susu

Parameter sifat organoleptik susu meliputi warna, bau susu, bau ozon dan konsistensi menunjukkan tidak ada pengaruh yang nyata dengan adanya perlakuan pasteurisasi kombinasi metode UV dan Ozon. Warna susu hasil pasteurisasi non thermal UV dan ozon berkisar antara putih susu cukup cerah sampai cerah (3,94), Tidak berbau ozon sampai agak berbau ozon (1,50); bau khas susu cukup cenderung kuat (3,63), dengan konsistensi cenderung homogen (3,81), seperti yang terlihat pada Tabel VI.

Tabel 6. Nilai Organoleptik Susu Pasteurisasi Non-Thermal Metode UV dan Ozon

Perlakuan	Mutu Hedonik			
	Warna	Bau (Ozon)	Bau (Susu)	Konsistensi
Kontrol	3,63 <sup>a</sup>	1,00 <sup>a</sup>	3,63 <sup>a</sup>	3,63 <sup>a</sup>
UV 0 & Ozon 1	3,19 <sup>a</sup>	1,31 <sup>a</sup>	3,13 <sup>a</sup>	3,31 <sup>a</sup>
UV 0 & Ozon 3	3,63 <sup>a</sup>	1,44 <sup>a</sup>	3,13 <sup>a</sup>	3,19 <sup>a</sup>
UV 0 & Ozon 5	3,38 <sup>a</sup>	1,44 <sup>a</sup>	3,31 <sup>a</sup>	3,44 <sup>a</sup>
UV 3 & Ozon 0	3,88 <sup>a</sup>	1,31 <sup>a</sup>	3,31 <sup>a</sup>	3,69 <sup>a</sup>
UV 3 & Ozon 1	3,31 <sup>a</sup>	1,63 <sup>a</sup>	3,19 <sup>a</sup>	3,75 <sup>a</sup>
UV 3 & Ozon 3	3,31 <sup>a</sup>	1,44 <sup>a</sup>	3,13 <sup>a</sup>	3,75 <sup>a</sup>
UV 3 & Ozon 5	3,81 <sup>a</sup>	1,50 <sup>a</sup>	3,25 <sup>a</sup>	3,56 <sup>a</sup>
UV 6 & Ozon 0	3,38 <sup>a</sup>	1,38 <sup>a</sup>	2,81 <sup>a</sup>	3,63 <sup>a</sup>
UV 6 & Ozon 1	3,94 <sup>a</sup>	1,88 <sup>a</sup>	2,69 <sup>a</sup>	3,69 <sup>a</sup>
UV 6 & Ozon 3	3,50 <sup>a</sup>	1,56 <sup>a</sup>	3,00 <sup>a</sup>	3,56 <sup>a</sup>
UV 6 & Ozon 5	3,38 <sup>a</sup>	1,56 <sup>a</sup>	3,25 <sup>a</sup>	3,19 <sup>a</sup>





UV 9 & Ozon 0	3,63 <sup>a</sup>	1,38 <sup>a</sup>	3,13 <sup>a</sup>	3,81 <sup>a</sup>
UV 9 & Ozon 1	3,75 <sup>a</sup>	1,44 <sup>a</sup>	3,25 <sup>a</sup>	3,81 <sup>a</sup>
UV 9 & Ozon 3	3,56 <sup>a</sup>	1,63 <sup>a</sup>	3,31 <sup>a</sup>	3,50 <sup>a</sup>
UV 9 & Ozon 5	3,56 <sup>a</sup>	1,56 <sup>a</sup>	3,25 <sup>a</sup>	3,56 <sup>a</sup>

Sedangkan hasil pengujian organoleptik dengan uji pembeda dengan uji pembandingan jamak menggunakan standart susu segar menunjukkan tiada apa pengaruh yang nyata antara susu segar dan susu pasteurisasi non termal metode UV dan ozon. Susu yang dipasteurisasi non termal metode UV dan Ozon mempunyai sifat organoleptik yang sama dengan susu segar meliputi warna (3,05), bau normal (2,9) dan Konsistensi (3,17). Susu yang dipasteurisasi non termal metode UV dan ozon mengalami sedikit perubahan sifat organoleptik. Perubahan sifat organoleptik susu tergantung pada lama waktu pemaparan UV. Penggunaan radiasi UV dengan intensitas tinggi diyakini dapat mengubah sifat organoleptik susu. Waktu pemaparan dan panjang gelombang sinar UV perlu dioptimalkan untuk mengurangi efeknya perubahan sifat organoleptik pada susu[8].

#### 4. Kesimpulan

Pasteurisasi non termal metode UV dan ozon mampu menginaktivasi bakteri *E. coli* sebagai Gram positif dan bakteri *Bacillus*, sp sebagai bakteri Gram negative. Laju inaktivasi bakteri *E. coli* lebih tinggi dibandingkan dengan bakteri *Bacillus*, sp. Pasteurisasi non termal metode UV-ozon menghasilkan model laju inaktivasi bakteri *E. coli* ( $\mu$ ) = 0,006 ln CFU/menit dengan model kinetika  $Y = -0,006x + 0,1383$  dengan  $R^2 = 0,0577$ . Sedangkan model matematika laju inaktivasi bakteri *Bacillus* sp ( $\mu$ ) = 0,0002 ln CFU/menit dengan model kinetika  $Y = -0,002x + 0,0566$  dengan  $R^2 = 0,0006$

Nilai D bakteri *E. coli* dan *Bacillus* sp paling rendah pada pasteurisasi non termal penyinaran UV 6 menit dikombinasi dengan paparan ozon 5 menit.

Pasteurisasi non thermal UV-ozon tidak berpengaruh terhadap sifat organoleptik susu sapi. Susu pasteurisasi non termal metode UV dan ozon berwarna putih cerah, bau khas susu

dan bau ozon lemah,, konsistensi cair dan homogen. Sifat organoleptik susu pasteurisasi non termal metode UV dan ozon sama dengan susu segar.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih kepada politeknik negeri jember dan Dirjen DIKTI yang telah mendanai penelitian ini

#### Daftar Pustaka

- [1] Delorme M M, Guimarães J T, Coutinho N M, Balthazar C F, Rocha R S, Silva R, Margalho L P, Pimentel T C, Silva M C, Freitas M Q, Granato D, Sant'Ana A S, Duart M C K H and Cruz A G . *Ultraviolet radiation: An interesting technology to preserve quality and safety of milk and dairy foods Trends, 2020. Food Sci. Technol. 102* 146–54
- [2] Hanif H A, Shamsudin R and Mohd Adzahan N. *Effects of UVC irradiation and thermal treatment on the physico-chemical properties and microbial reduction of clear and turbid tamarind juice, 2016 Int. Food Res. J. 23* S107–12
- [3] Khan I, Tango C N, Miskeen S, Lee B H and Oh D H. *Hurdle technology: A novel approach for enhanced food quality and safety – A review. 2021. Food Control 73* 1426–44
- [4] Singh H, Bhardwaj S K, Khatri M, Kim K H and Bhardwaj N. *UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products. 2021 Chem. Eng. J. 417* 128084
- [5] Mohamed Z and Barbara R. *Inactivation of microbes by ozone in the food industry: A review. 2021 African J. Food Sci. 15* 113–20.
- [6] Baykuş G, Akgün M P and Unluturk S. *Effects of ultraviolet-light emitting diodes (UV-LEDs) on microbial inactivation and quality attributes of mixed beverage made from blend of carrot, carob, ginger, grape and lemon juice. 2021 Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 67* 102572
- [7] Emilio Martínez de Alba A, Belén Rubio M, Eugenia Morán-Diez M, Bernabéu C, Hermosa R and Monte E. *Microorganisms Microbiological Evaluation of the Disinfecting Potential of UV-C and UV-C Plus Ozone Generating Robots, 2021*
- [8] Ibrahim O. *Thermal and nonthermal food processing technologies for food preservation and their effects on food chemistry and nutritional value. 2020., EC Nutr. 7* 88–105

