

## REVIEW: EFEKTIVITAS STERILISASI DENGAN OZON (O<sub>3</sub>) PADA PERALATAN LABORATORIUM SEBAGAI UPAYA PENJAMINAN KUALITAS DAN MUTU

Pande Ketut Pramita Desna Putri<sup>1\*</sup>, I Putu Sanna Yustiantara<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Farmasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana  
[paramitadesnap@gmail.com](mailto:paramitadesnap@gmail.com)

<sup>2</sup>Program Studi Farmasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana  
[putuyustiantara@unud.ac.id](mailto:putuyustiantara@unud.ac.id)

**Abstrak:** Sterilisasi adalah suatu proses yang dilakukan untuk membunuh atau menghilangkan organisme hidup yang terdapat suatu sampel, benda atau bahan. Sterilisasi dilakukan untuk menjamin kualitas bahan produk atau alat yang digunakan pada laboratorium atau dalam bidang kesehatan. Dalam melakukan sterilisasi diperlukan metode yang tepat dan sesuai dengan sifat masing-masing bahan, alat serta wadah yang akan digunakan untuk proses sterilisasi. Salah satu metode sterilisasi yang biasanya digunakan yaitu sterilisasi dengan ozon. Dalam bentuk gas Ozon sangat baik dan mempunyai kemampuan untuk mengoksidasi beberapa zat kontaminan dalam air. Mekanisme desinfeksi Ozon dihasilkan dari reaksi: molekul oksigen dan atom oksigen atau O. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas penggunaan metode sterilisasi dengan ozon terhadap cemaran mikroorganisme pada bahan ataupun alat yang tersedia dalam laboratorium atau dalam bidang kesehatan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan studi Pustaka yang yang diperoleh secara online melalui Google Scholar, Pubmed, scienceDirect dan Researchgate yang dipublikasi pada rentang waktu 10 tahun. Dengan kriteria terakreditasi sinta atau scopus. Berdasarkan review jurnal yang dilakukan diperoleh hasil bahwa ozon memiliki potensi yang baik untuk digunakan pada sterilisasi produk berupa alat dan bahan. Sterilisasi dengan ozon (O<sub>3</sub>) dapat dianggap sebagai germisida alami yang paling ampuh melawan mikroorganisme (dalam bentuk vegetatif dan spora) dengan efisiensi dan kecepatan tinggi, karena aktivitas pengoksidasinya yang tinggi.

**Kata Kunci:** Sterilisasi, steril, ozon, alat, laboratorium.

### PENDAHULUAN

Laboratorium merupakan tempat sekelompok orang yang melakukan berbagai macam kegiatan penelitian (riset), pengamatan, pelatihan dan pengujian ilmiah sebagai pendekatan antara teori dan praktek dari berbagai macam disiplin ilmu. Secara fisik laboratorium juga dapat merujuk kepada suatu ruangan tertutup, kamar atau ruangan terbuka (Emda, 2017). Laboratorium harus dilengkapi dengan berbagai sarana prasarana untuk kebutuhan percobaan. Laboratorium sebagai tempat kegiatan riset, penelitian, percobaan, pengamatan, serta pengujian ilmiah memiliki banyak fungsi (Emda, 2017). Di samping itu pada laboratorium terdapat alat-alat yang menunjang kegiatan praktikum atau penelitian. Dikutip dari (Kuncoro dkk., 2018) alat laboratorium merupakan benda yang digunakan dalam kegiatan di laboratorium yang dapat dipergunakan berulang-ulang. Oleh karena itu dibutuhkan sterilisasi alat agar tetap terjaga kesterilisasian serta bebas dari cemaran bakteri dan mikroorganisme yang terdapat pada alat tersebut.

Sterilisasi merupakan suatu proses penghilangan semua jenis organisme hidup, dalam hal ini adalah mikroorganisme yang terdapat dalam suatu benda. Proses ini melibatkan aplikasi biocidal agent atau proses fisik untuk membunuh atau menghilangkan mikroorganisme. Sterilisasi ini bertujuan untuk menjamin sterilitas produk maupun karakteristik kualitas sediaannya, termasuk kestabilan yang dimiliki oleh produk yang dihasilkan. Agen kimia untuk sterilisasi disebut sterilant. Proses sterilisasi merupakan hal yang paling utama dalam menentukan kesterilan dari sediaan akhir yang nantinya akan dibuat. Sehingga, perlu dilakukan metode sterilisasi yang tepat dan sesuai dengan sifat masing-masing bahan, alat serta wadah yang akan digunakan untuk proses sterilisasi

(Taufiq dan Najmudin, 2017). Sterilisasi dapat dibedakan menjadi tiga cara, yang meliputi (Ihsan, 2021):

- Sterilisasi secara fisik  
Sterilisasi secara fisik merupakan sterilisasi yang dilakukan dengan menggunakan panas. Misalnya menggunakan autoklaf dengan suhu 121°C dengan tekanan 1 ATM atau dengan oven bersuhu di atas 180°C. Umumnya, alat-alat dan bahan-bahan yang disterilisasi tahan terhadap suhu yang tinggi.
- Sterilisasi secara kimia  
Sterilisasi secara kimia merupakan sterilisasi menggunakan bahan kimia seperti, alkohol, fenol, HgCl<sub>2</sub>, ataupun ozon. Sterilisasi kimia umumnya dilakukan mensterilkan secara langsung dengan cara menyemprotkan alat dan bahan yang akan digunakan. Misalnya, penyemprotan tangan dengan alkohol atau meja kerja disemprotkan alkohol terlebih dahulu.
- Sterilisasi secara mekanik  
Sterilisasi secara mekanik merupakan sterilisasi yang dilakukan dengan menggunakan penyaringan (berpori sangat kecil sekitar 0,22 mikron atau 0,45 mikron) dan karenanya mikroba dapat tertahan pada saringan tersebut. Sterilisasi secara mekanik umumnya dikerjakan pada bahan-bahan yang tidak tahan panas. Misalnya serum darah, antibiotika, dan gula sederhana.

Salah satu sterilisasi secara kimia adalah sterilisasi ozon. Ozon merupakan satu diantara gas-gas yang membentuk atmosfer. Molekul dwiatom oksigen atau O<sub>2</sub> yang kita gunakan untuk bernafas membentuk hampir 20% atmosfera. Pembentukan ozon atau O<sub>3</sub>, molekul triatom oksigen kurang banyak dalam atmosfera yang mana kandungannya hanya 1/3 juta daripada gas atmosfera. Ozon sangat baik dan kuat sebagai disinfektan, banyak penelitian menunjukkan bahwa Ozon dengan konsentrasi rendah yakni kurang dari 0,5 mg/l mampu menghancurkan mikroorganisme termasuk juga virus dalam. Dalam bentuk gas Ozon sangat baik dan mempunyai kemampuan untuk mengoksidasi beberapa zat kontaminan dalam air. Mekanisme desinfeksi Ozon dihasilkan dari reaksi: molekul oksigen dan atom oksigen atau O (Kriswandana *et al.*, 2014). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas penggunaan sterilisasi metode ozon terhadap angka mikroorganisme pada alat laboratorium.

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam pembuatan artikel *review* ini yaitu studi pustaka dengan pendekatan sistematis untuk melakukan analisis data dengan cara yang sederhana dan bertujuan untuk mengumpulkan dan meringkas data penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Pustaka yang digunakan adalah pustaka yang berupa jurnal baik itu nasional maupun internasional yang membahas mengenai sterilisasi menggunakan gas ozon yang diterbitkan secara online dan diperoleh secara *online* dari berbagai situs seperti Google Scholar, Science Direct, Researchgate, dan juga Pubmed dengan menggunakan kata kunci *ozone sterilization, sterilization of medical devices with ozone, how to use ozone for sterilization, sterilization use ozone*. Berdasarkan hasil pencarian secara online dengan menggunakan kata kunci tersebut ditemukan sebanyak 16.120 artikel, yang kemudian digunakan filter tahun yaitu rentang 10 tahun (2012-2022) serta dilakukan skringing atau pemilihan abstrak maka diperoleh jurnal sebanyak 221 artikel.

Jurnal yang digunakan menjadi pustaka primer merupakan jurnal-jurnal yang nasional dan internasional yang sudah terakreditasi *sinta* ataupun *scopus* yang

menandakan bahwa jurnal tersebut adalah jurnal yang sudah bereputasi. Kesesuaian dengan topik yakni penerapan sterilisasi dengan menggunakan gas ozon pada alat-alat di laboratorium dan alat kesehatan. Sedangkan kriteria eksklusinya yakni artikel bukan merupakan jurnal nasional maupun internasional yang terakreditasi sinta atau scopus, dan juga jurnal-jurnal lainnya tidak membahas mengenai topik yang telah ditentukan. Berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi tersebut adapun jumlah jurnal yang kami gunakan dalam penyusunan hasil review artikel ini yakni 5 jurnal utama dan beberapa jurnal pendukung.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pencarian pustaka yang telah dilakukan dari beberapa situs secara *online* didapatkan pustaka berjumlah (n=16.120). Pemilihan pustaka dilakukan dengan cara skrining pada judul dan abstrak sehingga tersisa berjumlah (n=221). Pustaka yang digunakan secara keseluruhan pada *review* artikel ini berjumlah (n=17). Kriteria jurnal yang dipilih yaitu jurnal yang telah terindeks scopus dengan *quartile* tertentu dan membahas topik yang sesuai atau relevan dengan topik review yang dibahas.

**Tabel 1.** Hasil Pencarian Pustaka

Penulis	Referensi	Perlakuan	Hasil
Saijai <i>et al.</i> , 2019).	International Journal of Plasma Environmental Science and Technology (Q3).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pengaruh penghambatan pertumbuhan bakteri <i>Escherichia coli</i> dari air O3FB segar.</li> <li>• Pengaruh penyimpanan selama 3 hari dari air O3FB terhadap efektivitas pengahambatan bakteri <i>Escherichia coli</i>.</li> </ul>	Air O3FB ( <i>ozone fine bubbles water</i> ) terbukti memiliki efek sterilisasi pada bakteri <i>Escherichia coli</i> . Waktu generasi air O3FB selama 60 menit pada suhu 280C, dengan air O3FB yang masih segar (baru dibuat) memberikan hasil terbaik pada reduksi <i>Escherichia coli</i> , yang berkaitan dengan nilai ORP ( <i>oxidation-reduction potential</i> ) tertinggi. Namun, efek sterilisasi air O3FB setelah penyimpanan tiga hari tidak diamati dalam percobaan ini. Oleh karena itu, untuk menggunakan air O3FB dalam sterilisasi, disarankan untuk

			menggunakan air O3FB yang masih segar karena lebih efektif dibandingkan dengan air O3FB yang sebelumnya telah
(Fitria <i>et al.</i> , 2019).	Journal of Ecological Engineering (Q3).	Kemanjuran air kran terozonasi dengan tingkat pembacaan ORP ( <i>oxidation-reduction potential</i> ) yang berbeda (500, 550, 600, 650, dan 700 mV) dalam membunuh bakteri yang terkandung pada air kran yang dianalisis melalui paparan mikroorganisme <i>Staphylococcus aureus</i> dan <i>Bacillus cereus</i> yang terlarut dalam air kran terozonasi. Analisis dilakukan untuk mengetahui berapa kadar ORP yang optimum agar ozon dapat menghambat mikroorganisme secara efektif.	Ozon yang terlarut dalam air kran menunjukkan aktivitas yang efektif dalam menghilangkan dan sekaligus menghancurkan mikroorganisme. Hasilnya menunjukkan bahwa air kran terozonasi dapat membunuh secara efektif (100%) bakteri <i>Bacillus cereus</i> , dan <i>Staphylococcus aureus</i> pada tingkat ORP air kran terozonasi yang paling rendah (500 mV). Namun, untuk aplikasi dalam skala industri, tingkat ORP 700 mV direkomendasikan sebagai tingkat optimal untuk disinfeksi. Terbukti bahwa ozon yang terlarut dalam air kran dapat menjadi media yang kuat dengan kemanjuran yang tinggi dalam desinfektan bakteri.
(Moccia <i>et al.</i> , 2020).	Medicina (Q3).	Pengembangan dan peningkatan metode	Berdasarkan literatur yang

		efektif untuk desinfeksi udara dan permukaan dengan gas ozon sebagai agen dekontaminasi.	digunakan penggunaan ozon merupakan metode yang sangat efektif dan efisien. Ada banyak keuntungan dari metode ini yaitu mudah digunakan, menjamin pengurangan mikroorganisme, dan mampu menginaktivasi mikroorganisme di udara
(Galante <i>et al.</i> , 2016).	PLoS ONE (Q1).	Mekanisme cara kerja ozon.	Mekanisme kerja ozon, diketahui bahwa ozon mengoksidasi konstituen dinding sel (misalnya protein dan asam amino), menginduksi reaksi lisis dan gangguan membran sel mikroorganisme. Daya oksidasinya yang tinggi memungkinkan untuk menghilangkan virus, bakteri, protozoa, dan jamur dengan cepat dan cara yang efisien.
(Thill <i>and</i> Spaltenstein, 2020).	Ozone : Science and Engineering (Q3).	Sterilisasi perangkat medis yang dilakukan dengan menggunakan konsentrasi ozon dengan konsentrasi 550 ppm ( $\pm 7$ ppm). Dengan memperlakukan dosis ozon dalam dua tes yaitu percobaan pada 138	Mensterilkan perangkat medis dapat dilakukan dengan menggunakan konsentrasi ozon yang rendah serta suhu lingkungan dan air dalam jumlah kecil. Ini merupakan langkah penting menuju pemahaman

		ppm, 275 ppm, dan 550 ppm dilakukan pada suhu 23oC dan 30oC.	yang lebih baik tentang teknologi sterilisasi ozon, yang sejalan dengan tantangan baru yang dihadapi sterilisasi karena kompleksitas instrumen dan perangkat bedah yang terus meningkat. Teknologi
--	--	--	--

Ozon merupakan bentuk alotropik oksigen yang merupakan gas anorganik yang terdiri dari tiga atom oksigen (O<sub>3</sub>) dan tersusun dalam struktur bengkok, dimana jarak antar atom oksigen adalah 1,26 angstrom. Struktur ozon sangat mudah terurai menjadi oksigen (O<sub>2</sub>) dan satu atom oksigen tunggal yang sangat reaktif. Ozon dapat diproduksi dengan iradiasi ultraviolet oksigen atau prekursor lain seperti senyawa organik volatil dan nitrogen oksida yang ada di atmosfer. Kelarutan ozon dalam air adalah 49,0 mL/100 mL (pada 0oC) sehingga menyebabkan reaksi langsung dengan biomolekul dalam cairan biologis. Suhu yang lebih rendah dapat meningkatkan kemampuan ozon terlarut dalam air (Saijai et al., 2019). Kepadatannya lebih tinggi dari kepadatan udara yaitu 2,14 kg/m<sup>3</sup> (Grignani et al., 2020).

Gas ozon (O<sub>3</sub>) terbentuk ketika oksigen dikenai medan listrik energi tinggi atau radiasi pengion seperti sumber sinar UV. Disosiasi ozon melepaskan molekul oksigen dan radikal oksigen. Oksigen radikal memiliki reaktivitas dan potensi oksidasi yang menunjukkan sifat mikrobisida yang kuat dengan merusak struktur membran organisme mikro, sehingga dapat menyebabkan kematian sel. Ozon sangat tidak stabil dan tidak dapat disimpan atau diangkut. Sehingga dalam aplikasi penggunaannya diperlukan peralatan khusus yang disebut generator ozon. Ada tiga jenis generator ozon di industri yang bekerja berdasarkan prinsip elektrolisis, corona discharge, dan vakum ultraviolet (VUV) (Jildeh et al., 2021).

Metode elektrolisis bekerja dengan cara mensuplai arus bertekanan tinggi melalui bak elektrolisis yang mengandung 68% b/b asam sulfat, yang dapat menghasilkan antara 18% dan 25% b/b ozon dalam oksigen. Sistem corona discharge bekerja dengan melewati aliran gas yang kaya akan oksigen diantara dua pelat paralel (elektroda) bermuatan tinggi (10 kV). Pelepasan listrik mampu memutuskan ikatan O=O dan membentuk dua atom oksigen reaktif. Setiap atom oksigen kemudian berikatan dengan molekul oksigen lain membentuk ozon. VUV sistem bekerja dengan cara melepaskan radiasi UV berenergi tinggi dengan panjang gelombang di bawah 200 nm yang juga mampu memutuskan ikatan O=O dan membentuk ozon dari dua atom oksigen reaktif yang kemudian bereaksi dengan molekul oksigen lainnya (Jildeh et al., 2021).

Efektivitas sterilisasi dengan ozon akan meningkat dengan peningkatan kelembaban relatif lingkungan yaitu pada 80-95% agar ozon dapat menembus membran sel mikroorganisme. Pada saat yang sama, sifat ozon yang tidak stabil menyebabkan penggunaan yang terbatas dalam industri. Meskipun demikian, dengan adanya generator ozon yang dapat mempermudah penggunaan gas ozon ini dalam industri, seperti sebagai bagian dari sistem sterilisasi hidrogen peroksida yang berperan untuk meningkatkan

kemanjuran siklus dekontaminasi dan mempersingkat proses aerasi. Misalnya, sistem VUV digunakan untuk menambah sifat-sifat mikrobisida dari sistem sterilisasi uap hidrogen peroksida dalam saluran pengisian aseptik yang merupakan sebuah mesin perusahaan manufaktur untuk pengisian dan pengemasan secara biologis produk sensitif. Selain itu, generator ozon tipe corona discharge

dapat digabungkan dengan sistem sterilisasi hidrogen peroksida suhu rendah untuk sektor medis dan kesehatan seperti Sistem Sterrad oleh Advanced Sterilization Products (ASP) (Jildeh et al., 2021).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Saijai et al (2019), diketahui bahwa air O3FB (ozone fine bubbles water) terbukti memiliki efek sterilisasi pada bakteri *Escherichia coli*. Selain itu, ozon yang dilarutkan pada air kran juga terbukti dapat menghilangkan dan sekaligus menghancurkan bakteri *Bacillus cereus*, dan *Staphylococcus aureus* secara efektif (100%) yang terkandung dalam air kran. Sterilisasi dengan ozon juga mampu mematikan strain bakteri *Geobacillus stearothermophilus*. Sehingga penggunaan ozon sangat berpeluang dikembangkan dan diterapkan dalam bidang keilmuan yang memanfaatkan teknik sterilisasi seperti kesehatan medis dan farmasi (Galante et al., 2017; Fitria et al., 2019). Mekanisme kerja ozon sebagai agen desinfeksi yaitu mengoksidasi konstituen dinding sel (misalnya protein dan asam amino), menginduksi reaksi lisis dan mengganggu membran sel mikroorganisme. Ozon juga mampu menginaktivasi mikroorganisme di udara serta menghindari deposisi berikutnya pada permukaan benda (Galante et al., 2016; Mocia et al., 2020).

Berdasarkan penelitian Stolle et al (2021) memaparkan mengenai pengaruh sterilisasi ozon terhadap bakteriofag. Train virus yang digunakan dalam penelitian ini adalah bakteriofag *Escherichia coli* MS2 (ATCC® 15597-B1™) yang mana merupakan virus pengganti untuk strain virus umum termasuk norovirus. Dalam penelitian ini, menunjukkan bahwa paparan yang dilakukan pada sampel APD menggunakan ozon pada konsentrasi 32 ppm, mampu secara efisien mengurangi viral load pada APD.

Pada penelitian Luqueta et al (2017) membahas mengenai sterilisasi alat medis sekali pakai menggunakan ozon. Dimana alat medis sekali pakai yang diteliti yaitu seperti kertas krep, lembaran kain bukan tenun (SMS), kantong plastik kertas kelas medis, dan Tyvek. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mengetahui apakah sterilisasi menggunakan metode ozon dapat mempengaruhi perubahan fisik. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu semua kemasan sekali pakai komersial menunjukkan penetrasi ozon yang baik. Kertas krep dan SMS dimodifikasi secara kimia dan mekanis oleh ozon, sedangkan Tyvek hanya mengalami modifikasi mekanis. Kantong kertas-plastik adalah bahan kemasan yang baru saja mengalami penurunan ketahanan tarik yang dapat diterima, tidak menunjukkan variasi pada sifat kimia atau visual.

Ozon (O<sub>3</sub>) dapat dianggap sebagai germisida alami yang paling ampuh melawan mikroorganisme (dalam bentuk vegetatif dan spora) dengan efisiensi dan kecepatan tinggi, karena aktivitas pengoksidasinya yang tinggi. Dimana pada penelitian Almeida et al (2018) melakukan evaluasi mengenai efektivitas sterilisasi ozon pada alat kesehatan yang tercemar mikroorganisme. Adapun hasil penelitiannya yakni pada proses sterilisasi yang dipelajari pada mikroorganisme bentuk vegetatif aktif menunjukkan bahwa sterilisasi ozon efektif dengan bioburden antara 10<sup>5</sup> hingga 10<sup>7</sup> CFU/mL dengan satu tindakan sterilisasi pulsa. Validasi proses dikonfirmasi oleh hasil yang memuaskan untuk setengah siklus, sesuai dengan perawatan dengan empat pulsa yang diizinkan untuk mensterilkan bahan dengan bioburden <10<sup>6</sup> CFU/mL spora yang menunjukkan tingkat jaminan sterilitas yang sesuai.

Selanjutnya penelitian dari Thill and Spaltenstein (2020) membahas mengenai sterilisasi perangkat medis yang dilakukan dengan menggunakan konsentrasi ozon dengan konsentrasi 550 ppm ( $\pm 7$  ppm). Dengan memperlakukan dosis ozon dalam dua tes yaitu percobaan pada 138 ppm, 275 ppm, dan 550 ppm dilakukan pada suhu 23oC dan 30oC. Mensterilkan perangkat medis dapat dilakukan dengan menggunakan konsentrasi ozon yang rendah serta suhu lingkungan dan air dalam jumlah kecil. Sehingga dapat dinyatakan bahwa teknologi berbasis ozon sebagai agen sterilisasi memiliki potensi untuk mengatasi masalah utama dan menjadi alternatif yang terjangkau serta ramah lingkungan untuk proses EtO atau hidrogen peroksida.

## KESIMPULAN

Ozon (O<sub>3</sub>) adalah bentuk atropik oksigen yang merupakan gas anorganik yang terdiri atas atom oksigen, disosiasi ozon melepaskan molekul oksigen dan radikal oksigen. Oksigen radikal memiliki reaktivitas dan potensi oksidasi yang menunjukkan sifat mikrobisida yang kuat dengan merusak struktur membran organisme mikro, sehingga dapat menyebabkan kematian sel. Efektivitas sterilisasi dengan ozon akan meningkat dengan peningkatan kelembaban relatif lingkungan yaitu pada 80-95% agar ozon dapat menembus membran sel mikroorganisme. Metode sterilisasi dengan ozon memiliki potensi yang baik untuk digunakan sebagai sterilisasi alat maupun bahan karena germisida alami yang paling ampuh melawan mikroorganisme (dalam bentuk vegetatif dan spora) dengan efisiensi dan kecepatan tinggi, karena aktivitas pengoksidasinya yang tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Almeida, T. D. S. B., Felipe R. L., Irene S. K., Rajendra A., Kamal A., Terezinha de J. A. P. (2018). Evaluating the Potential, Applicability, and Effectiveness of Ozone Sterilization Process for Medical Devices. *Journal of Pharmaceutical Innovation*, 13 (2), 87-94.
- Emda, A. (2017). Laboratorium sebagai sarana pembelajaran kimia dalam meningkatkan pengetahuan dan ketrampilan kerja ilmiah. *Lantanida Journal*, 5(1), 83-92.
- Fitria, S., Sidik, M. A. B., Buntat, Z., Nawawi, Z., Jambak, M. I., Kamarudin, N. N., and Musa, F. N. (2019). Efficacy of Dissolved Ozone Against *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus* Microorganism. *Journal of Ecological Engineering*, 20(11), 76-81.
- Galante, R., Ghisleni, D., Paradiso, P., Alves, V. D., Pinto, T. J., Colaço, R., and Serro, A. P. (2017). Sterilization of Silicone-Based Hydrogels for Biomedical Application Using Ozone Gas: Comparison with Conventional Techniques. *Materials Science and Engineering, C*, 78 (1), 389-397.
- Galante, R., Redigueri, C. F., Kikuchi, I. S., Vasquez, P. A., Colaço, R., Serro, A. P., & Pinto, T. J. (2016). About the Sterilization of Chitosan Hydrogel Nanoparticles. *PLoS One*, 11(12), 1-18.
- Grignani, E., Mansi, A., Cabella, R., Castellano, P., Tirabasso, A., Sisto, R., Spagnoli, M., Fibrizi, G., Frigerio, F., and Tranfo, G. (2020). Safe and Effective Use of Ozone as Air and Surface Disinfectant in the Conjunction of Covid-19. *Gases*, 1(1), 19-32.
- Ihsan, B. 2021. *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. CV Insan Cendekia Mandiri. Sumatera Barat.

- Jildeh, Z. B., Wagner, P. H., and Schoning, M. J. (2021). Sterilization of Objects, Products, and Packaging Surfaces and Their Characterization in Different Fields of Industry: The Status in 2020. *Physica Status Solidi*, 218(13), 1-27.
- Kriswandana, F., Triastuti, E., Kesehatan, J., Poltekkes, L., & Surabaya, K. (2014). Rekayasa Disain Generator Ozon Sebagai Sterilisator Mikroorganisme Dalam Air. *Penelitian Kesehatan*, 47-54.
- Kuncoro, A. P., Kusuma, B. A., & Purnomo, A. (2018). Pengembangan Sistem Informasi Berbasis Website sebagai Media Pengelolaan Peminjaman dan Pengembalian Alat Laboratorium Fikes UMP. *Sains dan Teknologi Informasi*, 4(2), 24-30.
- Luqueta, G. R., Santos, E. D. D., Pessoa, R. S., & Maciel, H. S. (2017). Evaluation of Disposable Medical Device Packaging Materials Under Ozone Sterilization. *Research on Biomedical Engineering*, 33(1), 58-68.
- Moccia, G., De Caro, F., Pironti, C., Boccia, G., Capunzo, M., Borrelli, A., & Motta, O. (2020). Development and Improvement of an Effective Method for Air and Surfaces Disinfection with Ozone Gas as a Decontaminating Agent. *Medicina*, 56(11), 578.
- Saijai, S., Thonglek, V., and Yoshikawa, K. (2019). Sterilization Effects of Ozone Fine (Micro/Nano) Bubble Water. *International Journal of Plasma Environmental Science and Technology*, 12(2), 55-58.
- Stolle, L., Nalamasu, R., Rodenbeck, R., Davidson, K., Smarelli, C., Rosko, S., Josh. W., J. Ann K. L., and Pergolizzi, J. (2021). Ozone: A Novel Sterilizer for Personal Protective Equipment. *Journal of Science of Medicine*, 13(9), 1-6.
- Taufiq, R. dan Najmudin, N. (2017). Rancang Bangun Sistem Informasi Sterilisasi Alat Pada Unit CSSD Berbasis Java di RSUD Kota Tangerang. *Jurnal Informatika. Jurnal Pengembangan IT*, 2(1), 42-49.
- Thill, S. A., & Spaltenstein, M. (2020). Toward Efficient Low-Temperature Ozone Gas Sterilization of Medical Devices. *Ozone: Science & Engineering*, 42(5), 386-398.