

Peningkatan Kualitas Garam dengan “Green Technology” Ozon

Ria Wulansarie^{1*}, Irene Nindita Pradnya¹, Maharani Kusumaningrum¹, Isna Pratiwi², Masni Maksiola¹, Yoga Agung Prabowo¹, Fauzan Amrulloh¹ dan Dyah Nabila Yulianto¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia, 50229

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia, 50229

*) *Corresponding author*: ria.wulansarie@mail.unnes.ac.id

(Received: 09 Oct 2021 • Revised: 17 Dec 2021 • Accepted: 27 Dec 2021)

Abstract

Indonesia's dependence on imported salt is closely related with quality of local salt that doesn't meet the standards for commercialization. Production methods and technological limitations are the main reasons for the quality's problem. This problem also experienced by the Jagad Kidul Community Activity Unit (UKM) located in Kebumen, Central Java. The salt produced isn't optimal because the color obtained is still grayish white, due the trace elements. Based on the implementation of the Tri Dharma of Higher Education which includes community service, the proposing team plans to provide solutions to these problems. Ozone technology can be used to bleach salt. The bleaching process using ozone technology was chosen because is safer, cheaper, easier, and environmentally friendly. This technology can be anti-bacterial too, so salt doesn't need to be added with preservatives. The proposed activity consists of several stages, namely: location and problem observations, economic capacity and feasibility studies, technology implementation, and activity evaluation. The entire series of proposed activities will be implemented within a period of 8 months. The proposing team hopes to contribute to UNNES conservation efforts, where the application of green technology is included in one of the strategic plans used by UNNES, namely the technology strategic plan.

Abstrak

Ketergantungan Indonesia terhadap garam impor erat kaitannya dengan kualitas dari garam lokal yang belum memenuhi standar untuk dikomersialisasikan. Metode produksi konvensional dan keterbatasan teknologi menjadi alasan utama dari kurangnya kualitas garam produksi lokal. Permasalahan tersebut juga dialami oleh Unit Kegiatan Masyarakat (UKM) Jagad Kidul yang berlokasi di Kebumen, Jawa Tengah. Garam yang diproduksi belum maksimal dikarenakan warna yang didapat masih putih keabu-abuan, akibat dari kandungan *trace element* yang masih cukup tinggi. Berdasarkan pada kewajiban pelaksanaan Tri Dharma Perguruan Tinggi yang termasuk di dalamnya adalah pengabdian kepada masyarakat, tim pengusul berencana memberikan solusi atas masalah tersebut. Teknologi ozon dapat digunakan sebagai *bleaching* sehingga garam bisa berwarna putih. Proses *bleaching* menggunakan teknologi ozon dipilih karena prosesnya lebih aman, murah, mudah, dan ramah lingkungan. Teknologi ini juga berperan sebagai anti-bakteri, sehingga garam tidak perlu ditambah pengawet. Kegiatan pengabdian yang diusulkan terdiri dari beberapa tahap yaitu: Observasi lokasi dan identifikasi permasalahan, studi kapasitas produksi dan kelayakan ekonomi, implementasi teknologi, dan evaluasi kegiatan. Seluruh rangkaian kegiatan yang diusulkan akan dilaksanakan dalam jangka waktu 8 bulan. Tim pengusul berharap bisa memberikan kontribusi pada upaya konservasi UNNES, dimana penerapan teknologi hijau ini termasuk pada salah satu renstra yang di usung UNNES yaitu renstra teknologi.

Keywords: *anti-bacteria, bleaching, eco-friendly, ozone, salt*

PENDAHULUAN

Garam merupakan salah satu bahan pangan yang sangat penting bagi masyarakat Indonesia. Sebagian besar masyarakat Indonesia menggunakan garam sebagai bumbu masak. Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki banyak pantai salah satunya pantai selatan pulau jawa (Samudra Hindia). Pantai selatan tersebut memiliki potensi besar sebagai sumber untuk produksi garam. Meskipun bahan baku pembuatan garam melimpah di Indonesia, tidak membuat Indonesia mandiri dalam hal pemenuhan kebutuhan garam penduduknya. Indonesia masih mengimpor barang dari sejumlah negara, seperti Singapura, Jerman, Denmark, India, dan lain – lain [1]. Data negara pengimpor garam ke Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1., impor garam di Indonesia mengalami peningkatan dari tahun 2010 – 2018.

Tabel 1. Data Impor Garam Indonesia dari Tahun 2010 – 2018 [1]

Negara Asal	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
	Berat Bersih : 000 Kg								
Australia	1602	1 788	1648	1 588	2 004	1 489	1 753	2 296	2 603
	880,0	140,0	541,0	514,0	025,0	582,0	934,2	681,3	186,0
India	454	1 21	565	330	235	333	380	251	227
	629,8	513,8	731,0	750,0	736,2	731,2	505,4	590,1	925,6
Tiongkok ¹	20	180,0	5 980,9	496,0	24	37	4 630,1	269,2	899,7
	157,1				471,8	404,1			
Selandia Baru	1056,0	1128,0	1574,0	1728,0	2188,0	2248,0	2926,1	2669,5	3806,8
Singapura	53,2	24000,0	23,5	16,0	18,1	30,4	91,2	121,5	239,0
Jerman	332,3	565,7	429,4	292,0	340,6	237,0	369,9	300,1	236,0
Denmark	0,0	0,2	44,0	352,0	379,5	343,0	367,5	486,8	816,7
Lainnya	4234,2	343,1	682,0	781,7	1001,5	473,6	918,6	704,7	1967,6
Jumlah	283	2 835	2223	1 922	2 268	1 864	2 143	2 552	2 839
	342,6	870,8	005,8	929,7	160,7	049,3	743,0	823,2	077,4

Catatan : ¹Berdasarkan Keppres No.12/2014 tentang penggunaan kata Tiongkok untuk menggantikan kata Cina
Sejak Tahun 2010 Termasuk Kawasan Berikat
Diolah dari dokumen kepabeanan Ditjen Bea dan Cukai (PEB dan PIB)
Data dikutip dari Publikasi Statistik Indonesia

Adanya UKM produsen garam di Indonesia membantu Indonesia dalam menyuplai kebutuhan garam penduduknya. Salah satu UKM penghasil garam di Indonesia adalah UKM Jagad Kidul. UKM Jagad Kidul merupakan salah satu UKM yang berada di kawasan pantai selatan Samudra Hindia tepatnya di desa Miritpetikusan, Kecamatan Mirit, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah. UKM Jagad Kidul tersebut dipimpin oleh Bapak Puji Santoso. Proses produksi garam pada UKM Jagad Kidul masih menggunakan teknologi sederhana (sistem *tunnel*). Kondisi tambak garam UKM Jagad Kidul dapat dilihat pada Gambar 1. Pada Gambar 1 dapat dilihat *tunnel – tunnel* (petakan – petakan) yang digunakan sebagai tempat proses pembuatan garam. Air laut dialirkan dan ditampung ke dalam petakan – petakan. Air laut tersebut kemudian mengalami proses pengeringan menggunakan panas matahari. Karena prosesnya mengandalkan panas matahari, pengeringan tersebut membutuhkan waktu yang cukup lama sekitar 7 hari. Setelah terjadi proses pengkristalan garam, dilakukan panen dengan cara meniriskan kristal garam dari air laut yang tersisa. Langkah terakhir yaitu pengemasan garam.



Gambar 1. Tambak Garam pada UKM Jagad Kidul

Semua proses pembuatan garam pada UKM Jagad Kidul tersebut dilakukan secara manual, seperti pengecekan apakah garam yang mengkristal sudah siap panen atau belum. Pada Gambar 2 dapat dilihat salah seorang anggota UKM Jagad Kidul sedang melakukan pengecekan pada proses pembuatan garam.

Garam produksi UKM Jagad Kidul memiliki kualitas yang masih dibawah standar nasional dan masih kalah bersaing dengan garam impor. Garam yang dihasilkan dari peladangan garam di Indonesia masih memiliki kemurnian NaCl yang rendah ($< 90\%$) [2]. Hal tersebut dikarenakan proses produksi garam yang digunakan masih menggunakan metode sederhana/tradisional. Garam yang dihasilkan belum berwarna putih bersih, masih ada warna keabu-abuan akibat dari kandungan *trace element* yang masih cukup tinggi dan juga tidak adanya proses *bleaching*. Oleh karena itu, perlu adanya perbaikan pada proses produksi garam pada UKM Jagad Kidul tersebut. *Trace element* adalah elemen yang memiliki kelimpahan rendah dalam suatu sistem bahwa mengubah kelimpahannya tidak mempengaruhi stabilitas fase apa pun dalam sistem [3]. Walaupun tidak berpengaruh pada fasenya, tetapi sangat andil dalam menentukan kualitas garam.

Permasalahan utama mitra pada UKM Jagad Kidul adalah proses produksi garam pada UKM Jagad Kidul masih menggunakan teknologi tradisional sehingga kualitas garam yang masih di bawah standar nasional yaitu yang pertama masih berwarna putih keabua – abuan yang disebabkan karena tidak ada proses *bleaching* dan kemungkinan mengandung *trace-element*, salah satu contohnya adalah logam Timbal (Pb). Timbal (Pb) dapat dikatakan sebagai salah satu logam berat yang sangat berbahaya, beracun bagi organisme, dan tidak dapat diuraikan oleh proses alam [4]. Adanya logam timbal (Pb) yang mungkin terikut pada garam dapat menyebabkan garam kurang aman untuk dikonsumsi dan menyebabkan warna garam tidak putih bersih. Apabila ikut termakan, logam timbal juga berbahaya bagi tubuh. Bahaya timbal bagi tubuh manusia yaitu racun timbal dapat memengaruhi fungsi organ dan sistem tubuh manusia. Secara bertahap, racun timbal dapat memengaruhi perkembangan mental dan fisik anak. Racun timbal juga berbahaya bagi ibu hamil karena dapat meningkatkan risiko keguguran, kelahiran prematur, berat badan lahir rendah, dan lambatnya pertumbuhan bayi. Pada wanita hamil yang telah terkontaminasi dengan timbal sejak kecil,

timbangan akan disimpan di tulang dan dikeluarkan dari tulang selama kehamilan dan menyusui dan masuk lagi ke peredaran darah [5]. Permasalahan mitra yang kedua yaitu karena proses yang digunakan masih tradisional dapat menyebabkan daya tahan produk garam yang kurang bagus karena dimungkinkan ada bakteri atau mikroorganisme lain sehingga dapat menyebabkan garam berkurang daya tahannya.



Gambar 2. Salah Satu Anggota UKM Jagad Kidul sedang Melakukan Pengecekan pada Proses Pembuatan Garam

Tim pengusul pengabdian kepada masyarakat mengusulkan teknologi ozon sebagai metode perbaikan produksi garam pada UKM Jagad Kidul. Ozon merupakan senyawa yang dapat membunuh bakteri, pengoksidasi yang kuat, dan pada awalnya digunakan untuk menghilangkan rasa, bau dan warna [6]. Teknologi ozon ini digunakan sebagai proses *bleaching* pada garam agar garam yang didapatkan mempunyai warna yang lebih putih dan lebih menarik untuk dikomersialisasikan. Proses *bleaching* menggunakan teknologi ozon ini dipilih karena prosesnya lebih aman, murah, mudah digunakan, dan ramah lingkungan, jika dibandingkan dengan metode lain yang menggunakan bahan kimia yang mempunyai potensi berbahaya bagi lingkungan dan juga konsumen. Sebagai tambahan, penggunaan teknologi ozon ini juga sekaligus untuk penambahan sifat anti-bakteri pada garam sehingga dapat memperpanjang waktu simpan dari garam itu sendiri tanpa ada bahan ataupun proses pengawetan tambahan.

Teknologi ozon menggunakan prinsip teknologi hijau dalam proses *bleaching* pada produksi garam. Penggunaan teknologi ozon dalam proses *bleaching* tidak meninggalkan residu berbahaya sehingga garam yang dihasilkan aman untuk dikonsumsi. Teknologi hijau merupakan teknologi ramah lingkungan dan rendah karbon yang bertujuan untuk mengurangi emisi karbon ke udara yang menyebabkan fenomena perubahan iklim global [7].

Ozon merupakan molekul berwujud gas yang terdiri atas tiga atom oksigen. Ozon dapat disintesis menggunakan metode radiasi sinar ultraviolet dan melewati gas oksigen dalam tegangan tinggi yang sering disebut metode *corona discharge* [8]. Prinsip kerja ozon dalam proses *bleaching* garam yaitu mengoksidasi senyawa pengotor pada garam. Ozon merupakan oksidator kuat bahkan lebih kuat dari klorin (sering dipakai pada proses *bleaching*) namun tidak meninggalkan residu dalam proses oksidasinya. Ozon mempunyai potensial oksidasi terkuat di urutan kedua setelah fluor, yaitu sebesar 2,07 mV [9]. Ozon merupakan disinfektan dan oksidator kuat, sering digunakan oleh industri untuk proses penghilangan warna (*decoloration*), penghilangan bau (*deodorization*), dan untuk

memproduksi perubahan struktur senyawa organik [3]. Sifat oksidasi yang kuat dari gas ozon memungkinkan penggunaannya sebagai disinfektan, untuk menghilangkan logam berat dan menguraikan polutan organik beracun [11].

Teknologi ozon pernah digunakan untuk proses *bleaching* pada tepung aren [12]. Ozon mampu menggantikan bahan kimiawi seperti klorin, kaporit, maupun benzoyl peroxide untuk mengoksidasi tepung dan menghasilkan proses pemutihan yang cepat dan lebih baik [13]. Sama seperti pada *bleaching* tepung aren, proses *bleaching* pada garam juga akan menghasilkan garam dengan kualitas yang lebih bagus karena zat – zat pengotornya hilang dan warna garam lebih bagus (putih). Selain tampilan fisik garam yang lebih bagus, daya tahan garam yang melalui proses ozonasi juga akan bertahan lebih lama karena sifat anti-bakteri pada ozon.

Ozon dapat terdekomposisi menjadi radikal OH (*OH), yang merupakan oksidan yang sangat kuat dalam air. Kondisi tersebut terjadi ketika kondisi proses ozonasi dalam kondisi basa. Selama proses disinfeksi oleh ozon berlangsung, proses oksidasi mungkin terjadi antara kedua oksidan, radikal OH dan ozon. Proses ozonasi dipengaruhi oleh pH. Pada pH rendah, ozon akan bereaksi secara eksklusif dengan senyawa yang memiliki gugus spesifik melalui reaksi selektif seperti elektrofilik, nukleofilik, atau reaksi penambahan dipolar (ozonasi langsung). Pada kondisi normal, ozon akan terdekomposisi menghasilkan radikal OH yang merupakan oksidator kuat dan bereaksi dengan senyawa organik dan anorganik yang beragam pada air (ozonasi tidak langsung). Pada umumnya, ozonasi langsung mendominasi pada pH rendah (pH<4), ozonasi langsung dan tidak langsung terjadi pada pH 4-9, dan ozonasi tidak langsung mendominasi pada pH>9 [14]. Berdasarkan hal tersebut, proses ozonasi pada produksi garam akan dilakukan pada kondisi basa sehingga proses *bleaching* akan terjadi secara optimal serta akan menghilangkan zat pengotor pada garam sehingga garam memiliki tampilan menarik yaitu berwarna putih serta daya tahan garam menjadi lebih lama atau awet.

Dengan adanya teknologi ozon diharapkan mampu mengatasi permasalahan yang dialami oleh mitra UKM Jagad Kidul. Teknologi ozon pernah digunakan untuk mendegradasi adanya logam timbal (Pb) yang terikut pada tanah [15]. Ozon juga dapat digunakan untuk meningkatkan daya tahan makanan seperti yang dilakukan oleh Bai dkk. (2017) pada mie [16].

METODE

Rangkaian kegiatan yang dilakukan untuk pengabdian masyarakat ini direncanakan akan dilakukan selama 8 bulan dan terdiri dari tiga tahapan utama yakni persiapan, implementasi teknologi, dan evaluasi kegiatan, seperti yang dapat dilihat pada skema alur kegiatan yang tertera pada Gambar 3.



Gambar 3. Tahap kegiatan pengabdian

1. Pada tahap persiapan, akan dilakukan observasi lokasi dan identifikasi permasalahan serta studi kapasitas produksi dan kelayakan ekonomi. Tahap ini dilakukan dengan

melakukan survey pendahuluan untuk melihat kondisi di lapangan mengenai permasalahan yang timbul di UKM Jagad Kidul. Kelompok pengabdian masyarakat akan datang ke UKM Jagad Kidul, Kebumen untuk melakukan diskusi dengan ketua dan anggota kelompok UKM terkait proses produksi garam yang sampai saat ini masih digunakan dan juga berbagai permasalahan yang sering timbul dari saat proses produksi sampai pada saat pemasaran.

2. Implementasi teknologi, Tahap Implementasi teknologi ini merupakan kegiatan inti dari program usulan pengabdian kepada masyarakat ini. Tahapan ini terdiri dari tiga kegiatan yakni:
 1. Edukasi tentang manfaat dari *green technology* dan teknologi ozon
 2. Pemasangan alat ozonisasi seperti yang dapat dilihat pada Gambar pada rangkaian proses produksi garam
 3. Edukasi tentang pemakaian dan cara perawatan alat ozonisasi

Adapun setelah proses pemasangan alat dan produksi garam, akan dilakukan sampling dan uji analisis kualitas garam. Diharapkan dengan adanya penambahan alat ini dapat memperbaiki kualitas dari garam yang diproduksi UKM Jagad Kidul dan dapat meningkatkan ekonomi warga terutama anggota dari UKM Jagad Kidul.



Gambar 4. Instalasi Alat Ozon

3. Proses evaluasi terhadap capaian yang didapat selama kegiatan dilakukan dengan cara monitoring hasil produksi dan pemasaran pasca implementasi produksi. Tahap ini perlu dilakukan untuk menilai tingkat keberhasilan kegiatan serta untuk mencari hal yang masih bisa ditingkatkan dan juga saran untuk pengadaan kegiatan pengabdian selanjutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pengabdian masyarakat berupa sosialisasi teknologi ozon yang diaplikasikan pada proses pembuatan garam pada UKM Garam Jagad Kidul, Kebumen, Jawa Tengah secara daring melalui media zoom.

Evaluasi pelatihan ini dilakukan dari dua segi yaitu evaluasi terhadap proses pelatihan dan evaluasi terhadap hasil pelatihan. Evaluasi terhadap proses dan hasil pelatihan mendapatkan hasil sebagai berikut:

1. Evaluasi terhadap proses pelatihan

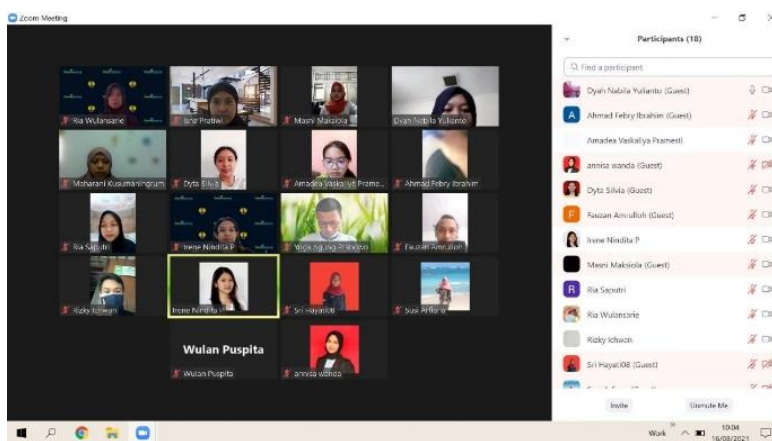
Sebelum kegiatan sosialisasi, dilakukan observasi untuk mengetahui tingkat pengetahuan yang dimiliki oleh para peserta tentang penggunaan “*green technology*” ozon. Metode yang dilakukan adalah diskusi bersama UKM Jagad Kidul. Hasil yang diperoleh sebagai berikut:

- a) Hampir 100% peserta belum pernah mengenal “*green technology*” ozon sebagai metode pemutihan garam.
- b) Hampir 90% peserta belum mengetahui cara menggunakan “*green technology*” ozon
- c) Lebih dari 85% peserta mempunyai keinginan untuk mendalami penggunaan “*green technology*” ozon dan bagaimana efisiensi harga garam.



Gambar 5. Sosialisasi tahap satu

Sosialisasi kedua yang akan dilakukan oleh pengabdian yaitu sinkronisasi pemutihan garam dengan “*green technology*” ozon dan penggunaannya pada UKM Jagad Kidul, sehingga implementasi serta pendalaman mengenai “*green technology*” ozon akan lebih applicable. Penyampaian materi penyuluhan dilakukan secara online melalui platform *zoom meeting* secara terpadu yaitu metode ceramah, tanya jawab dan diskusi. Setelah kegiatan penyampaian materi dilaksanakan, akan diadakan evaluasi untuk mengetahui seberapa jauh peserta menyerap materi yang disajikan tim pengabdian.



Gambar 6. Sosialisasi tahap dua

2. Evaluasi terhadap hasil pelatihan

Evaluasi dilakukan karena kegiatan penyuluhan sinkronisasi antara pemutihan garam serta pengaplikasian “*green technology*” ozon dilaksanakan pada tanggal 2 s.d 4 Agustus 2021.

Kegiatan pengabdian ini keberhasilannya dipengaruhi oleh adanya faktor pendorong dan penghambat yaitu:

1. Faktor Pendorong, Faktor pendorong dari kegiatan ini adalah sikap antusias dan motivasi dari sebagian besar UKM Jagad Kidul. Teknologi penggunaan “green technology” ozon sebagai pengganti upaya peningkatan kualitas garam, hingga nantinya akan memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi dan dapat di ekspor. Mereka juga meminta kepada tim pengabdian agar kegiatan ini ditindak lanjuti.
2. Faktor Penghambat, Faktor penghambat relatif belum ada.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan kegiatan pengabdian ini menambah pengetahuan masyarakat terutama anggota UKM Garam Jagad Kidul mengenai peluang teknologi ozon sebagai teknologi hijau yang ramah lingkungan, yang dapat diaplikasikan pada proses pembuatan garam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada tim UKM Jagad Kidul yang berkenan untuk bekerja sama dalam kegiatan pengabdian ini sehingga dapat terselesaikannya agenda ini. Terimakasih juga penulis ucapkan kepada UNNES yang telah men-*support* secara penuh kegiatan yang penulis lakukan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, “Impor Garam Menurut Negara Asal Utama, 2010-2018.” .
- [2] R. A. Malik, Nilawati, N. I. Handayani, Rame, S. Djayanti, N. I. Pratiwi, and N. I. Setianingsih, “Aplikasi Bakteri Halofilik Berwarna Merah Terimmobilisasi Dalam Meningkatkan Kualitas Garam Dalam Proses Produksi Garam,” pp. 224–231, 2019.
- [3] G. N. Hanson, “An approach to trace element modeling using a simple igneous system as an example,” *Geochemistry Mineral. Rare Earth Elem.*, pp. 79–98, 2019.
- [4] Deri, Emiyarti, and L. O. A. Afu, “Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Akar Mangrove *Avicennia marina* di Perairan Teluk Kendari,” *Mina Laut Indones.*, vol. 1, no. 1, pp. 38–48, 2013.
- [5] P. Ipa and S. Di, “Analisis struktur kovarians indikator terkait kesehatan pada lansia di rumah dengan fokus pada kesehatan subjektif,” p. 18, 2017.
- [6] A. Ginantaka, “Teknologi Disinfeksi Limbah Cair Dengan Menggunakan Ozon,” *J. Agroindustri Halal*, vol. 1, no. 2, pp. 086–094, Mar. 2015, doi: 10.30997/jah.v1i2.559.
- [7] Bushra Limuna Ismail, “Teknologi Hijau Dalam Arus Pembangunan Negara Dan Amalan Masyarakat,” *J. Refleks. Kepemimp.*, vol. 3, pp. 161–168, 2020, [Online]. Available: <https://myjms.mohe.gov.my/index.php/jrk/article/view/9812>.
- [8] S. D. Perincek, K. Duran, A. E. Korlu, and İ. M. Bahtiyari, “An Investigation in the Use of Ozone Gas in the Bleaching of Cotton Fabrics,” *Ozone Sci. Eng.*, vol. 29, no. 5, pp. 325–333, Oct. 2007, doi: 10.1080/01919510701509578.
- [9] A. Calatayud, J. W. Ramirez, D. J. Iglesias, and E. Barreno, “Effects of ozone on photosynthetic CO₂ exchange, chlorophyll a fluorescence and antioxidant systems in

- lettuce leaves,” *Physiol. Plant.*, vol. 116, no. 3, pp. 308–316, Nov. 2002, doi: 10.1034/j.1399-3054.2002.1160305.x.
- [10] J. H. Han, B. S. Oh, S. Y. Choi, and B. C. Kwon ., “Killing Effect of Ozone on House Dust Mites, the Major Indoor Allergen of Allergic Disease,” *Ozone Sci. Eng.*, vol. 28, no. 3, pp. 191–196, Jul. 2006, doi: 10.1080/01919510600689679.
- [11] S. Jongdee, T. Kumsaen, and K. Wantala, “Manganese Removal from Aqueous Solution by Ozonation Process Designed by Box-Behken Design (BBD),” *Appl. Environ. Res.*, vol. 39, no. 1, pp. 1–10, 2017, doi: 10.35762/aer.2017.39.1.1.
- [12] W. D. P. Rengga, R. Wulansarie, A. Chafidz, T. M. Amin, P. A. Handayani, H. Abdillah, and M. F. Fauzan, “‘Green’ Bleaching Process of Sugar Palm (*Arenga pinnata*) Flour by Using Sodium Salt and Ozone Technology,” *Key Eng. Mater.*, vol. 805, pp. 134–140, Jun. 2019, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.805.134.
- [13] C. O’Donnell, B. K. Tiwari, P. J. Cullen, and R. G. Rice, *Ozone in Food Processing*. Chichester: Blackwell Publishing Ltd, 2012.
- [14] Peratitus, *Ozone Reaction Kinetics for Water and Wastewater Systems*. London: CRC Press, 2003.
- [15] D. Leštan, A. Hanc, and N. Finžgar, “Influence of ozonation on extractability of Pb and Zn from contaminated soils,” *Chemosphere*, vol. 61, no. 7, pp. 1012–1019, Nov. 2005, doi: 10.1016/j.chemosphere.2005.03.005.
- [16] Y.-P. Bai, X.-N. Guo, K.-X. Zhu, and H.-M. Zhou, “Shelf-life extension of semi-dried buckwheat noodles by the combination of aqueous ozone treatment and modified atmosphere packaging,” *Food Chem.*, vol. 237, pp. 553–560, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.05.156.