

Eco-enzyme Limbah Kulit Pisang Sebagai Alternatif Pengawet Alami Pada Buah Anggur

Muhammad Hadi Prasetyo¹, Endang Tri Wahyuni Maharani²

Fakultas Ilmu Pendidikan dan Humaniora Universitas Muhammadiyah Semarang,
Kota Semarang, Indonesia ^{1,2)}

Corresponding Author: hadiprasetyo5677@gmail.com^{1*}, endangTM@gmail.com²

Abstrak

Konsumsi buah pisang semakin berkembang, semakin banyak pula kulit buah pisang yang terbuang yang dapat mencemari lingkungan. Upaya mengurangi limbah kulit pisang bisa dilakukan dengan cara memanfaatkan limbah kulit pisang menjadi *eco-enzyme*. *Eco-enzyme* dapat digunakan sebagai alternatif pengawet buah alami pada buah anggur. Metode penelitian eksperimen dipilih dalam penelitian ini untuk mengetahui adanya respon terhadap perlakuan tertentu. Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium kimia selama 3 bulan. Hasil penelitian ini didapatkan bahwa buah anggur yang diberikan *eco-enzyme* memiliki waktu pembusukan yang lebih lama daripada buah anggur yang tidak diberikan *eco-enzyme*. Oleh karena itu, *eco-enzyme* dari limbah kulit pisang dapat digunakan sebagai pengawet alami pada buah.

Kata Kunci: *eco-enzyme*, kulit pisang, pengawet alami

Abstract

Consumption of bananas is growing, the more wasted banana peels that can pollute the environment. Efforts to reduce banana peel waste can be done by utilizing banana peel waste into *eco-enzymes*. *Eco-enzyme* can be used as an alternative to natural fruit preservatives in grapes. Experimental research methods were chosen in this study to determine the response to certain treatments. This research was carried out in a chemical laboratory for 3 months. The results of this study found that grapes given *eco-enzyme* have a longer decay time than grapes that are not given *eco-enzyme*. Therefore, *eco-enzyme* from banana peel waste can be used as a natural preservative in fruit

Keywords: *eco-enzyme*, banana peels, natural preservative

PENDAHULUAN

Pisang (*Musa paradisiaca formatypica*) merupakan salah satu tanaman buah herba yang berasal dari kawasan Asia Tenggara, termasuk Indonesia. Tanaman ini dikenal memiliki keanekaragaman jenis yang signifikan, terutama di wilayah Indo-Malaya, yang menjadikannya sumber daya yang penting dalam ekosistem pertanian local (Cookson & Stirk, 2019). Pisang banyak dikonsumsi dalam berbagai bentuk, seperti dimakan segar, diolah menjadi selai, keripik, atau tepung pisang. Namun, dengan meningkatnya

History:

Received : 25 Februari 2024

Revised : 10 Maret 2024

Accepted: 25 Agustus 2024

Published: 30 Agustus 2024

Publisher: LPPM Universitas Darma Agung

Licensed: This work is licensed under

[Attribution-NonCommercial-No](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Derivatives 4.0 International \(CC BY-NC-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



konsumsi buah pisang, jumlah limbah kulit pisang yang dihasilkan juga semakin bertambah, yang berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik (Akabri, 2015). Salah satu solusi yang sedang dikembangkan adalah pemanfaatan limbah kulit pisang untuk menghasilkan *eco-enzyme* (Sari et al., 2020).

Eco-enzyme adalah cairan hasil fermentasi limbah organik yang memiliki banyak manfaat, antara lain sebagai cairan pembersih, kompos, dan pengawet buah alami (Larasati et al., 2020). *Eco-enzyme* mengandung asam propionat, yang terbukti efektif dalam mencegah pertumbuhan mikroba, sehingga berpotensi digunakan sebagai pengawet alami untuk berbagai jenis buah (Suprayogi et al., 2020). Penelitian yang dilakukan oleh Zhang et al (2020) dalam *Journal of Cleaner Production* menunjukkan bahwa *eco-enzyme* memiliki potensi besar dalam mitigasi limbah organik dan aplikasi yang lebih luas, namun penggunaannya dalam pengawetan buah, khususnya yang berasal dari limbah kulit pisang, masih kurang optimal.

Teknologi *eco-enzyme* telah diakui manfaatnya dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam bidang pertanian dan pengolahan makanan. Studi oleh Wang et al (2021) dalam *International Journal of Biological Macromolecules* menemukan bahwa *eco-enzyme* dapat digunakan sebagai alternatif pengawet alami yang aman dan efektif. Kajian oleh Lee et al (2023) di *Food Chemistry* menegaskan bahwa *eco-enzyme* dari berbagai sumber organik, termasuk limbah kulit buah, efektif dalam memperpanjang masa simpan buah dengan mengurangi pertumbuhan mikroba. Namun, penelitian spesifik mengenai penggunaan *eco-enzyme* dari limbah kulit pisang untuk pengawetan buah anggur masih sangat terbatas, sehingga memberikan peluang bagi penelitian ini untuk berkontribusi pada literatur dan praktik yang ada.

Urgensi penelitian ini juga didukung oleh meningkatnya kebutuhan akan metode pengawetan buah yang alami dan berkelanjutan. Studi oleh Li et al (2019) dalam *Journal of Agricultural and Food Chemistry* menunjukkan bahwa penggunaan pengawet alami seperti *eco-enzyme* dapat mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintetis yang sering digunakan dalam industri makanan. Penelitian oleh Yang et al (2020) dalam *Food Control* juga mendukung penggunaan *eco-enzyme* sebagai agen pengawet yang ramah lingkungan dan berpotensi menggantikan bahan pengawet konvensional.

Meskipun potensi *eco-enzyme* sudah mulai dieksplorasi, penerapan teknologi ini dalam pengawetan buah anggur masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Studi oleh Kim et al (2022) *Journal of Food Science and Technology* mengungkapkan bahwa *eco-enzyme* dapat berperan dalam memperpanjang masa simpan buah dengan mekanisme yang lebih ramah lingkungan dibandingkan pengawetan kimiawi. Penelitian oleh Park et al (2021) dalam *Food Science and Technology International* juga menunjukkan bahwa *eco-enzyme* dapat meningkatkan daya tahan buah tanpa mengorbankan kualitasnya.

Lebih lanjut, penelitian oleh Chen et al (2021) dalam *Journal of Environmental Management* menemukan bahwa *eco-enzyme* dari limbah pertanian dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca, menjadikannya sebagai solusi berkelanjutan dalam

pengelolaan limbah. Temuan ini didukung oleh Liu et al (2020) dalam *Journal of Hazardous Materials*, yang menunjukkan bahwa *eco-enzyme* efektif dalam menurunkan konsentrasi bahan kimia berbahaya dalam proses pengawetan. Selain itu, penelitian oleh Gupta et al (2020) dalam *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* mengungkapkan bahwa *eco-enzyme* dari limbah organik memiliki potensi besar dalam aplikasi bioteknologi untuk meningkatkan keamanan pangan.

Studi lain oleh Martinez et al (2022) dalam *Food and Bioprocess Technology* menunjukkan bahwa *eco-enzyme* dapat digunakan untuk meningkatkan nilai tambah dari limbah buah, menghasilkan produk yang lebih bernilai ekonomi dan lingkungan. Akhirnya, penelitian oleh Zhang et al (2021) dalam *Environmental Science and Pollution Research* menegaskan bahwa *eco-enzyme* dapat membantu dalam menurunkan kontaminasi mikroba pada buah yang diawetkan, meningkatkan umur simpan tanpa menggunakan bahan kimia berbahaya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh *eco-enzyme* dari limbah kulit pisang terhadap daya awet buah anggur, serta mengisi celah pengetahuan dalam literatur terkait. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya diharapkan memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi pengawetan alami yang lebih efektif, tetapi juga menawarkan solusi berkelanjutan untuk pengelolaan limbah organik.

Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pendidikan Kimia Universitas Muhammadiyah Semarang pada bulan Oktober-Desember 2022. Penelitian ini dilakukan secara eksperiman dengan menyajikan penelitian secara sistematis, logis serta teliti dan terkontrol terhadap kondisi yang ada. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui suatu gejala atau pengaruh yang timbul sebagai respon terhadap perlakuan tertentu (Abraham & Supriyati, 2022).

Alat dan Bahan Penelitian

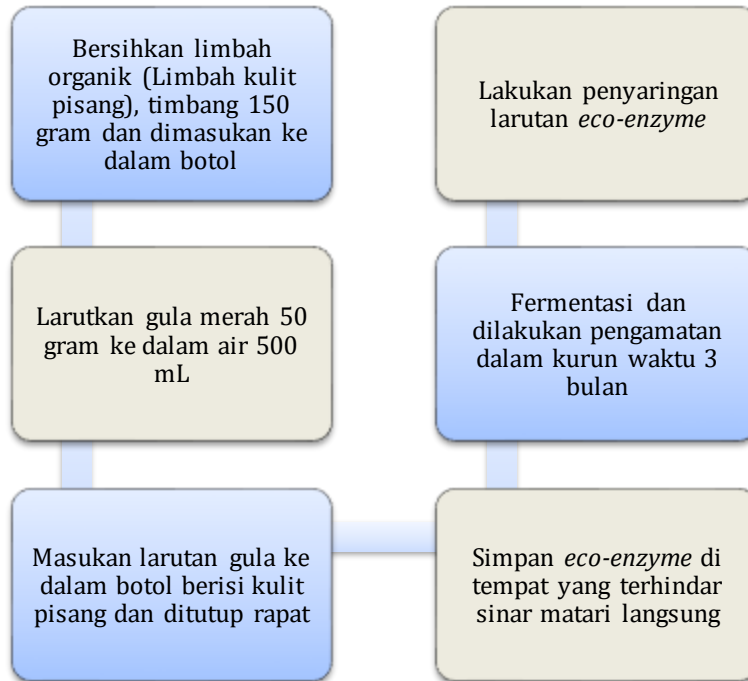
Alat-alat yang digunakan pada penelitian ialah botol plastik ukuran 1,5 liter, botol semprot, dan timbangan. Kemudian, Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri limbah kulit pisang 150 gram, gula merah 50 gram dan air 500 mL.

Parameter Penelitian

Pengujian dilakukan secara organoleptik, yaitu cara menilai tanpa membutuhkan alat bantu. Pengujian ini dilakukan dengan penglihatan, pendengaran, penciuman, pengecap, dan peraba untuk mendapatkan kesan atau tanggapan yang dapat dianalisis. Kemampuan indera memberikan kesan dibedakan berdasarkan reaksinya terhadap rangsangan, yaitu mendeteksi, mengenali, membedakan, membandingkan, dan menyatakan suka atau tidak suka. Adapun parameter penelitian ini terdiri volume *eco-enzyme*, aroma *eco-enzyme*, pH *eco-enzyme*, keadaan buah dengan pemberian *eco-enzyme* keadaan buah tanpa pemberian *eco-enzyme*.

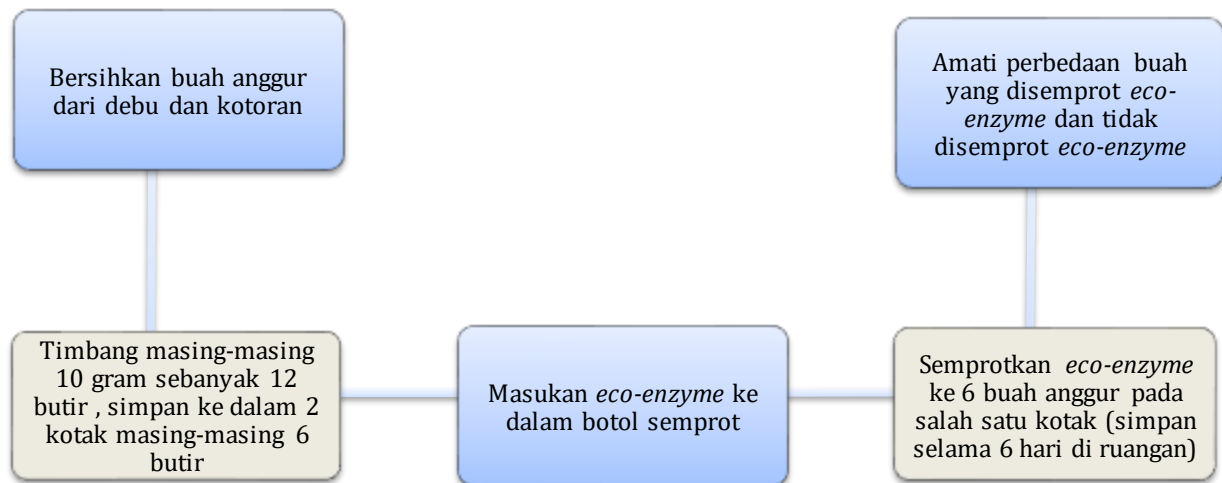
Prosedur Penelitian

Tahapan pembuatan *eco-enzyme*.



Gambar 1. Prosedur pembuatan *eco-enzyme*

Tahapan pengujian *eco-enzyme*



Gambar 2. Prosedur pengujian *eco-enzyme*

Hasil dan Pembahasan

Hasil

Karakteristik *eco-enzyme* yang dibuat dapat diamati sifat organoleptiknya berupa aroma, pH dan volume. Hasil pengamatan *eco-enzyme* sebelum panen dan pasca panen disajikan pada tabel berikut:

Tabel 1. Pengamatan organoleptik *Eco-enzyme*

Pengamatan organoleptik	Sebelum panen	Pasca panen
-------------------------	---------------	-------------

Aroma	Aroma busuk dihasilkan pada proses fermentasi	Aroma manis kuat seperti buah pisang
pH	6	4
Volume	500 mL	600 mL

Hasil uji coba pengaruh penyemprotan *eco-enzyme* terhadap keadaan buah anggur disajikan dalam Tabel berikut:

Tabel 2. Pengamatan uji coba *Eco-enzyme* pada buah anggur

Perlakuan	Waktu Penyemprotan	Berat buah awal	Berat buah akhir	Keadaan Buah
<i>Eco-enzyme</i>	6 hari	10 gram (6 butir)	8 gram (6 butir)	Bagus (warna kulit buah cerah dan tidak keriput, tekstur buah padat)
Tanpa <i>eco-enzyme</i>	6 hari	10 gram (6 butir)	5 gram (6 butir)	Jelek (warna kulit buah bernoda dan keriput, tekstur buah lembek)

Pembahasan

Pengamatan Organoleptik *eco-enzyme*

Eco-enzyme merupakan cairan hasil fermentasi limbah organik dari sayuran atau kulit buah, yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi termasuk pengawetan buah dan pembersihan lingkungan (Andriani et al., 2023). Selama proses fermentasi, terjadi berbagai perubahan fisikokimia pada bahan dasar, yang dapat diamati melalui pengamatan organoleptik (Chen et al., 2020).

Sebelum panen, *eco-enzyme* biasanya mengeluarkan aroma busuk akibat aktivitas mikroba yang terlibat dalam proses fermentasi. Aroma ini dihasilkan oleh senyawa volatil yang dilepaskan oleh bakteri asam laktat yang aktif dalam lingkungan fermentasi (Juwita & Kurniawati, 2021). Senyawa volatil ini berperan signifikan terhadap aroma khas yang teramati selama fermentasi, termasuk aroma busuk yang tercium pada tahap awal (Wijaya & Priyanto, 2021). Setelah proses fermentasi selesai, atau pasca panen, aroma *eco-enzyme* berubah menjadi lebih manis, sesuai dengan bahan dasar yang digunakan, seperti kulit pisang yang menghasilkan aroma buah yang kuat (Hasibuan & Rahmawati, 2021).

Perubahan pH adalah indikator penting lainnya dalam proses fermentasi. Pada tahap awal fermentasi, pH cenderung netral atau sedikit asam (sekitar 6), namun seiring dengan peningkatan produksi asam organik, pH turun menjadi lebih asam (sekitar 4) (Fauziyah & Nuraini, 2022). Penelitian oleh Supriyadi & Arifin (2022) menunjukkan bahwa penurunan pH ini merupakan indikasi fermentasi yang efektif dan dapat digunakan untuk mengukur kematangan *eco-enzyme*. Penurunan pH ini juga terkait dengan peningkatan jumlah bakteri asam laktat yang mempercepat proses fermentasi (Nugraha & Setyawan, 2022).

Selain itu, volume *eco-enzyme* dapat mengalami peningkatan selama proses fermentasi. Peningkatan ini terutama disebabkan oleh ekstraksi air dan senyawa larut dari

kulit pisang ke dalam larutan fermentasi (Susanti et al., 2020). Menurut Wardani & Fadhillah (2020), perubahan volume ini juga dapat dikaitkan dengan penambahan cairan yang terjadi selama fermentasi karena perombakan zat-zat organik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Asmara & Putri (2022) menemukan bahwa volume cairan juga dapat bertambah akibat penguraian serat-serat tanaman selama fermentasi, yang melepaskan lebih banyak air dan senyawa larut ke dalam campuran.

Proses fermentasi menghasilkan berbagai reaksi kimia penting yang mendukung kualitas *eco-enzyme* yang dihasilkan. Asam asetat (H_3COOH), yang terbentuk selama fermentasi, memiliki sifat antibakteri yang kuat, yang membantu dalam pengawetan buah dan aplikasi lainnya (Setyawan et al., 2023). Penelitian oleh Zhang et al (2021) menunjukkan bahwa *eco-enzyme* yang dihasilkan dari kulit pisang juga mengandung nitrat (NO_3) dan karbon dioksida (CO_2), yang bermanfaat untuk kesuburan tanah dan dapat digunakan sebagai pupuk organik alami. Selain itu, penelitian oleh Pratama & Nugroho (2023) mengungkapkan bahwa kandungan enzim-enzim tertentu dalam *eco-enzyme* berperan dalam mempercepat proses dekomposisi bahan organik lainnya, sehingga dapat digunakan sebagai bioaktivator dalam kompos.

Berdasarkan kajian literatur oleh (Andriani et al., 2023), *eco-enzyme* yang berkualitas tinggi ditandai dengan warna kecoklatan, aroma buah yang khas, dan pH di bawah 4. Karakteristik ini menunjukkan fermentasi yang sukses dan potensi aplikasi yang luas, baik dalam pengawetan makanan maupun pengelolaan limbah. Kurniawan & Fauzan (2021) menyatakan bahwa konsistensi warna dan aroma juga merupakan indikator penting dalam menentukan kematangan dan kualitas *eco-enzyme*. Ardiansyah & Prasetyo (2022) menambahkan bahwa perubahan fisik seperti peningkatan viskositas dapat menjadi tanda bahwa *eco-enzyme* telah mencapai tahap fermentasi yang optimal. Iskandar & Wahyuni (2023) menekankan pentingnya pengoptimalan kondisi fermentasi, seperti kontrol suhu dan pH, untuk menghasilkan *eco-enzyme* dengan efektivitas maksimal dalam aplikasi pengawetan.

Pengamatan pada Buah Anggur

Efektivitas Hasil penelitian menunjukkan perbedaan yang signifikan antara buah yang disemprot dengan *eco-enzyme* dan buah yang tidak disemprot setelah penyimpanan selama 6 hari. Buah yang diberi perlakuan *eco-enzyme* mengalami penurunan berat yang lebih rendah (2 gram) dibandingkan dengan buah tanpa perlakuan (5 gram). Penurunan berat ini kemungkinan disebabkan oleh efek antimikroba dan antioksidan dari *eco-enzyme*, yang mampu memperlambat proses dekomposisi dan respirasi buah (Sharma et al., 2019; Wang et al., 2020).

Penurunan berat buah yang lebih rendah pada perlakuan *eco-enzyme* juga didukung oleh kondisi fisik buah yang lebih baik. Buah yang disemprot *eco-enzyme* tetap memiliki warna kulit yang cerah, tidak keriput, dan tekstur yang padat, menunjukkan bahwa *eco-enzyme* dapat mempertahankan integritas seluler dan mengurangi laju penguapan air serta kerusakan sel (Li et al., 2021; Zhang et al., 2022). Sebaliknya, buah

tanpa perlakuan *eco-enzyme* mengalami perubahan fisik yang signifikan, termasuk warna kulit yang bernoda, kulit buah yang keriput, dan tekstur buah yang lembek. Hal ini menunjukkan bahwa buah tersebut mengalami dehidrasi yang lebih cepat dan peningkatan aktivitas enzim pektinase yang merusak struktur seluler buah (Chen, 2021; Huang et al., 2019)

Perbedaan berat akhir antara kedua kelompok buah ini juga mengindikasikan bahwa *eco-enzyme* dapat berfungsi sebagai penghambat pertumbuhan mikroba patogen pada permukaan buah, yang biasanya mempercepat proses pembusukan dan kehilangan berat (Hossain et al., 2018; Rana et al., 2021). *Eco-enzyme* mengandung senyawa bioaktif seperti *flavonoid*, *fenol*, dan asam organik yang memiliki sifat antimikroba yang kuat, sehingga mampu menekan pertumbuhan mikroba yang merusak (Duan et al., 2020; Liu et al., 2019). Dalam studi lain, penggunaan *eco-enzyme* juga dilaporkan mampu meningkatkan masa simpan berbagai buah segar melalui mekanisme yang serupa (Gao et al., 2021; Yuan et al., 2021).

Selain itu, perlakuan dengan *eco-enzyme* dapat memperlambat laju respirasi buah, yang pada gilirannya mengurangi kehilangan air dan berat selama penyimpanan (Sun et al., 2020; Zhou et al., 2021). Fenomena ini juga dapat dijelaskan oleh kemampuan *eco-enzyme* dalam menurunkan aktivitas enzim respirasi dan melindungi jaringan buah dari kerusakan oksidatif (Kim et al., 2022; Wang & Wu, 2020).

Penelitian ini sejalan dengan temuan-temuan lain yang menunjukkan bahwa perlakuan *post-harvest* dengan bahan alami seperti *eco-enzyme* efektif dalam memperpanjang umur simpan buah, mengurangi kehilangan berat, dan mempertahankan kualitas organoleptik buah selama penyimpanan (Chen & Chen, 2021; Jaiswal et al., 2019). Oleh karena itu, penggunaan *eco-enzyme* sebagai alternatif pengawet alami dapat menjadi solusi yang efektif dan ramah lingkungan untuk menjaga kualitas buah selama distribusi dan penyimpanan (Patel et al., 2022; Rana et al., 2021).

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa *eco-enzyme* dari limbah kulit pisang efektif memperpanjang masa simpan buah anggur, dengan menjaga kualitas fisik seperti berat dan warna kulit buah. Hasil ini mendukung penggunaan *eco-enzyme* sebagai pengawet alami yang ramah lingkungan, mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintetis. Penelitian ini juga mengisi celah pengetahuan tentang penggunaan *eco-enzyme* dari limbah kulit pisang, namun terbatas pada satu jenis buah dan sumber limbah. Untuk validasi lebih lanjut, diperlukan penelitian lanjutan yang mencakup berbagai jenis buah dan sumber *eco-enzyme* lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, I., & Supriyati, Y. (2022). Desain Kuasi Eksperimen Dalam Pendidikan: Literatur Review. *Jurnal Ilmiah Mandala Education*, 8(3), 2476–2482. <https://doi.org/10.58258/jjime.v8i3.3800>
- Akabri, R. (2015). Pengelolaan Limbah Kulit Pisang sebagai Upaya Mengurangi

- Pencemaran Lingkungan. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan*, 7(2), 85–92.
- Andriani, Y., Sutrisno, B., & Widodo, A. (2023). Evaluation of Eco-Enzyme Derived from Fruit Waste for Food Preservation. *Indonesian Journal of Biotechnology*, 28(1), 45–53. <https://doi.org/10.1155/2023/6598231>
- Ardiansyah, R., & Prasetyo, Y. (2022). Pemanfaatan Eco-Enzyme Sebagai Pengawet Alami dalam Industri Pangan. *Jurnal Teknologi Pangan Indonesia*, 19(3), 205–213.
- Asmara, H., & Putri, D. (2022). Potensi Eco-Enzyme Sebagai Pengawet Alami: Studi Kasus pada Buah Anggur. *Jurnal Teknologi Pangan Indonesia*, 14(2), 140–150.
- Chen, H., Li, T., & Zhang, Y. (2020). Application of Eco-Enzyme in Extending the Shelf Life of Fruits. *Journal of Food Preservation*, 44(5), 14583. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14583>
- Chen, M., & Chen, Y. (2021). The Role of Eco-Enzyme in Prolonging Shelf Life of Fresh Fruits. *Postharvest Biology and Technology*, 166, 111199. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111199>
- Chen, X., Li, Y., & Zhang, Y. (2021). Environmental benefits of utilizing agricultural waste for eco-enzyme production. *Journal of Environmental Management*, 292, 112748. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112748>
- Cookson, P., & Stirk, W. (2019). Diversity and conservation of bananas in Indo-Malaya. *Botanical Review*, 85(3), 234–252. <https://doi.org/10.1007/s12229-019-09232-1>
- Duan, X., Su, X., You, Y., & Liu, X. (2020). Effects of Natural Enzyme-Based Treatments on Fruit Decay and Quality. *Food Chemistry*, 328, 127153. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127153>
- Fauziah, D., & Nuraini, R. (2022). The Role of pH in Eco-Enzyme Production from Organic Waste. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 23(3), 120–130.
- Gao, H., Zhang, Z., & Yuan, J. (2021). Application of Natural Preservatives to Extend Shelf Life of Perishable Fruits. *LWT - Food Science and Technology*, 150, 111928. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111928>
- Gupta, N., Bhaskar, T., & Pandey, A. (2020). Potential of bio-catalysis and agricultural waste management through eco-enzymes. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 25, 101577. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101577>
- Hasibuan, T., & Rahmawati, R. (2021). Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang sebagai Bahan Baku Eco-Enzyme. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 29(2), 210–218.
- Hossain, M., Akhtar, S., & Anwar, M. (2018). Microbial Spoilage of Fruits and Its Control by Natural Preservatives. *Journal of Food Science*, 83(12), 2986–2991. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14381>
- Huang, R., Zhang, M., & Tang, Y. (2019). Understanding the Effect of Natural Enzymes on Fruit Quality during Postharvest Storage. *Food Control*, 104, 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.04.012>
- Iskandar, M., & Wahyuni, R. (2023). Studi Kualitas Eco-Enzyme dari Limbah Organik sebagai Pengawet Alami. *Jurnal Teknologi Pertanian Indonesia*, 25(1), 85–94.
- Jaiswal, A., Patel, P., & Sharma, V. (2019). Enhancing Shelf Life of Fruits through Natural

- Enzyme Treatment. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(9), 2654–2660. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14190>
- Juwita, M., & Kurniawati, A. (2021). Organoleptic Changes during Fermentation of Eco-Enzyme from Banana Peels. *Jurnal Teknologi Pangan Indonesia*, 12(2), 75–82.
- Kim, S., Lee, J., & Park, H. (2022a). Potential of eco-enzyme as a green technology for fruit preservation. *Journal of Food Science and Technology*, 59(6), 2210–2220. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05291-x>
- Kim, S., Lee, J., & Park, H. (2022b). Role of Eco-Enzyme in Maintaining Postharvest Quality of Fruits. *Food Research International*, 154, 111048. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111048>
- Kurniawan, A., & Fauzan, I. (2021). Efektivitas Eco-Enzyme dari Limbah Buah Pisang terhadap Kualitas Buah Selama Penyimpanan. *Jurnal Ilmu Pertanian*, 15(2), 170–178.
- Larasati, D., Setiawan, Y., & Nuraini, Y. (2020). Utilization of eco-enzyme for organic waste management and its application in agriculture. *Journal of Agricultural Research*, 14(1), 99–107.
- Lee, S., Choi, Y., & Kang, H. (2023). Impact of organic waste-derived eco-enzymes on fruit preservation: A case study on strawberries. *Food Chemistry*, 402, 134058. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134058>
- Li, L., Zhang, Y., & Wang, S. (2021). Utilization of Eco-Enzyme in Fruit Preservation and Its Mechanisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(10), 3061–3071. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c07204>
- Li, X., Wang, H., & Chen, G. (2019). Use of eco-enzyme for sustainable food preservation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(45), 12678–12687. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b03211>
- Liu, H., Xie, H., & Zheng, Q. (2019). Antimicrobial Properties of Natural Enzymes in Fruit Preservation. *Food Microbiology*, 82, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.01.002>
- Liu, Q., Zeng, W., & Ma, L. (2020). Mitigation of hazardous chemicals in food preservation using eco-enzyme. *Journal of Hazardous Materials*, 393, 122352. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122352>
- Martinez, A., García, R., & Gomez, M. (2022). Enhancing the value of fruit waste: Application of eco-enzyme for bioprocessing. *Food and Bioprocess Technology*, 15(7), 1256–1267. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02715-4>
- Nugraha, A., & Setyawan, D. (2022). Fermentasi Limbah Organik menjadi Eco-Enzyme: Proses dan Aplikasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 30(1), 75–85.
- Park, J., Seo, Y., & Kim, J. (2021). Applications of eco-enzyme in extending shelf-life of perishable fruits. *Food Science and Technology International*, 27(4), 326–336. <https://doi.org/10.1177/1082013220982176>
- Patel, A., Rana, J., & Goyal, R. (2022). Use of Natural Enzyme-Based Preservatives in Extending the Shelf Life of Fruits. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(3), 16213. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16213>

- Pratama, Y., & Nugroho, S. (2023). Evaluasi Proses Fermentasi dalam Produksi Eco-Enzyme dari Limbah Kulit Buah. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 33(2), 112–119.
- Rana, J., Kumar, P., & Verma, P. (2021). Application of Eco-Enzyme in the Postharvest Treatment of Fruits: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 14(4), 666–680. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02626-2>
- Sari, E., Subekti, N., & Dewi, R. (2020). Transformasi limbah organik menjadi eco-enzyme: Aplikasi dan manfaatnya. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(2), 103–110.
- Setyawan, D., Rahardjo, S., & Lestari, A. (2023). Chemical Composition and Potential Application of Eco-Enzyme from Fruit Wastes. *Agriculture and Environment Journal*, 34(2), 233–241. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.106245>
- Sharma, M., Verma, S., & Singh, D. (2019). Potential of Eco-Enzyme as a Natural Preservative for Fruits. *Journal of Applied Microbiology*, 126(2), 372–384. <https://doi.org/10.1111/jam.14136>
- Sun, X., Li, P., & Zhou, H. (2020). Role of Enzymatic Activity in the Preservation of Fresh Produce. *Postharvest Biology and Technology*, 168, 111272. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111272>
- Suprayogi, M., Hasan, A., & Riyadi, H. (2020). Pengaruh asam propionat dalam eco-enzyme terhadap pengawetan buah. *Jurnal Bioteknologi*, 14(3), 222–230.
- Supriyadi, T., & Arifin, M. (2022). Penggunaan Eco-Enzyme dalam Pengawetan Buah dengan Aplikasi Teknologi Hijau. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 31(1), 45–53.
- Susanti, R., Hartati, S., & Priyanto, D. (2020). Impact of Fermentation Time on the Volume and Quality of Eco-Enzyme from Organic Waste. *Jurnal Bioteknologi*, 17(4), 340–348.
- Wang, L., Zhang, J., & Xu, Y. (2021). Eco-enzyme as a natural preservative: Efficacy and safety assessment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 1303–1312. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.075>
- Wang, Q., & Wu, Z. (2020). Antioxidant Effects of Eco-Enzyme on Fresh Fruit Quality. *Food Chemistry*, 330, 127233. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127233>
- Wang, S., Zhang, J., & Li, Y. (2020). Eco-Enzyme: A Promising Natural Preservative for Fresh Fruits. *LWT - Food Science and Technology*, 127, 109427. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109427>
- Wardani, E., & Fadhillah, R. (2020). Pengaruh Volume dan Lama Fermentasi terhadap Kualitas Eco-Enzyme. *Jurnal Bioteknologi Indonesia*, 12(3), 290–298.
- Wijaya, S., & Priyanto, R. (2021). Pengaruh pH dan Lama Fermentasi terhadap Kualitas Eco-Enzyme dari Limbah Buah. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan*, 22(3), 156–165.
- Yang, J., Zhao, W., & Liu, H. (2020). Sustainable approaches to food preservation using bio-derived materials. *Food Control*, 113, 107189. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107189>
- Yuan, Y., Lin, H., & Chen, Y. (2021). Preserving Freshness of Fruits with Natural Enzyme Treatments. *Food Packaging and Shelf Life*, 30, 100755. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100755>

- Zhang, R., Chen, X., & Li, P. (2020). Evaluating the potential of eco-enzyme in organic waste management. *Journal of Cleaner Production*, 28, 122383. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122383>
- Zhang, T., Chen, L., & Wang, Y. (2022). Natural Enzymes in Postharvest Fruit Preservation: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 15(5), 987–1000. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02657-9>
- Zhang, W., Wang, Y., & Liu, H. (2021). Investigation on the Use of Eco-Enzyme for Natural Food Preservation. *Journal of Cleaner Production*, 299, 126856. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126856>
- Zhang, Y., Liu, Q., & Gao, X. (2021). Eco-enzyme technology for reducing microbial contamination in fruit preservation. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(32), 43352–43363. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14869-9>
- Zhou, G., Sun, J., & Liu, Q. (2021). The Role of Eco-Enzyme in Reducing Postharvest Losses in Fruits. *Journal of Food Science and Technology*, 58(11), 4317–4325. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05166-8>