

Edukasi Pengelolaan Sampah Sisa Makanan (Organik) untuk Pemuda Kota Batam

Sartikha¹, Maria¹, Yeni Rokhayati¹, Metta Santiputri¹, Selly Artaty Zega¹, Miratul Khusna Mufida¹, Alena Uperiati¹, Supardianto¹, Liony Lumombo¹

¹Politeknik Negeri Batam, Jl. Ahmad Yani, Batam Kota, Indonesia

*Email: sartikha@polibatam.ac.id

Abstract—Environmental-friendly organic waste management is crucial for supporting sustainability, especially with the high volume of household waste. This community service project aims to educate the public, particularly the youth, about organic waste management through the use of eco enzyme technology. The education process involves eco enzyme practitioners and youth, facilitated by online-accessible video tutorials and social media campaigns to expand the reach of the information. Various activities, including socialization, education, and a challenge to create eco enzyme tutorial videos, were conducted to enhance participants' understanding and involvement. Evaluation through questionnaires completed by 156 respondents showed a significant increase in participants' knowledge regarding eco enzyme, its preparation methods, and benefits. The level of interest in using eco enzyme reached 94.23%, and the perceived benefits of the socialization process were 95.51%. Thus, this project successfully raised awareness and encouraged youth participation in sustainable organic waste management, which is expected to contribute positively to the environment in Batam City, Riau Island, Indonesia.

Keyword— organic waste management, *eco enzyme*, tutorial videos, sustainability.

Abstrak—Pengelolaan limbah organik ramah lingkungan sangat penting untuk mendukung keberlanjutan, terutama dengan tingginya volume limbah rumah tangga. Proyek layanan masyarakat ini bertujuan untuk mendidik masyarakat, khususnya kalangan muda, mengenai pengelolaan limbah organik melalui penggunaan teknologi *eco enzyme*. Proses edukasi melibatkan praktisi *eco enzyme* dan kalangan muda, yang difasilitasi melalui tutorial video yang dapat diakses secara online dan kampanye media sosial untuk memperluas jangkauan informasi. Berbagai kegiatan, termasuk sosialisasi, edukasi, dan tantangan untuk membuat video tutorial *eco enzyme*, dilakukan untuk meningkatkan pemahaman dan keterlibatan peserta. Evaluasi melalui kuesioner yang diisi oleh 156 responden menunjukkan peningkatan signifikan dalam pengetahuan peserta mengenai *eco enzyme*, cara pembuatannya, dan manfaatnya. Tingkat ketertarikan untuk menggunakan *eco enzyme* mencapai 94,23%, dan manfaat yang dirasakan dari proses sosialisasi sebesar 95,51%. Dengan demikian, proyek ini berhasil meningkatkan kesadaran dan mendorong partisipasi kalangan muda dalam pengelolaan limbah organik yang berkelanjutan, yang diharapkan dapat memberikan kontribusi positif terhadap lingkungan di Kota Batam, Kepulauan Riau, Indonesia.

Kata Kunci— Pengelolaan Sampah Organik, *Eco enzyme*, Video Tutorial, Keberlanjutan

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan data dari website DataBox Katadata[1], Indonesia menghasilkan sampah sisa makanan pada tahun 2023 mencapai 40,9%. Sampah sisa makanan meskipun termasuk dalam jenis sampah yang mudah terurai, dapat merusak lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Sampah jenis makanan yang masuk ke Tempat Pembuangan Akhir kemudian mengalami

pembusukan akan menghasilkan gas metana yang menyebabkan rumah kaca. Emisi gas rumah kaca dari sampah menyumbang 8% dari emisi global[3]. Oleh karena itu, tindakan pencegahan terkait dengan manajemen pengelolaan limbah makanan seharusnya bisa dimulai dari lingkup kecil seperti rumah tangga. Setiap rumah bisa mengelola sampah organiknya sendiri sehingga sampah tidak perlu dibuang dan menjadi penyebab perusak lingkungan. Untuk itu, diperlukan edukasi pengelolaan sampah organik pada tiap rumah. Salah satu solusi yang bisa dilakukan untuk mengelola sampah rumah tangga adalah dengan mengubah sampah organik menjadi *eco enzyme*.

Eco enzyme adalah hasil fermentasi dari limbah organik sisa makanan menjadi bahan yang bermanfaat seperti pembersih pakaian, cuci piring, pembersih udara, pupuk organik, serta pestisida. *Eco enzyme* pertama kali ditemukan oleh Dr. Rokunson PoomvanPong, pendiri Asosiasi Pertanian Organik di Thailand, dan kemudian diperkenalkan lebih luas oleh Dr. Joean Oan[2]. *Eco enzyme* ini cenderung aman dikelola oleh rumah tangga karena mengandung larutan probiotik yang membantu kesehatan dan lingkungan.

Maka, pengabdian ini dilakukan untuk mengedukasi masyarakat, pemuda yang terdiri dari Mahasiswa dan SMK di Kota Batam tentang pengelolaan sampah organik yang ramah lingkungan dengan melibatkan praktisi *eco enzyme* dan pemuda itu sendiri. Dengan langkah-langkah kecil ini, diharapkan akan terjadi perbaikan yang berkelanjutan bagi lingkungan, dengan memanfaatkan limbah rumah tangga dan menjaga lingkungan agar menjadi lebih baik.

Pengabdian kepada masyarakat ini akan dilaksanakan dalam tiga tahap. Pertama, akan dilakukan sosialisasi dan peningkatan pemahaman tentang dampak dari sampah organik yang tidak dikelola dengan baik, serta tentang proses pengelolaan sampah dan pembuatan *eco enzyme* dari sisa makanan. Kedua, kami akan membuat video tutorial pembuatan *eco enzyme* yang dapat diakses oleh masyarakat, khususnya warga Kota Batam, agar mereka dapat langsung mempraktikkannya di rumah masing-masing. Pembuatan video ini merupakan inovasi teknologi yang bisa digunakan secara berkelanjutan oleh mitra untuk disebar ke komunitas saat melakukan sosialisasi. Ketiga, kami akan memanfaatkan akun sosial media dalam menyebarkan informasi dan edukasi terkait pengolahan sampah organik, untuk menari minat kami akan melakukan challenge di mana masyarakat diharapkan untuk mempraktikkan pembuatan *eco enzyme* di rumah masing-masing, mendokumentasikannya, dan mengunggahnya ke media sosial mereka. Dengan demikian, pemahaman tentang pengelolaan sampah organik akan semakin luas. Untuk meningkatkan minat masyarakat dan pemuda Kota Batam dalam mengikuti challenge ini, akan ada hadiah cinderamata bagi inisiasi bagi peserta yang menunjukkan hasil terbaik.

Sehingga diharapkan, Edukasi Pengelolaan Sampah Sisa Makanan (Organik) untuk Pemuda Kota Batam ini akan menjadi kampanye menjaga lingkungan dengan menggunakan inovasi teknologi berupa video tutorial yang bisa diakses dan digunakan mitra/praktisi *eco enzyme* dan

disebar ke komunitas-komunitas untuk menjadi alat sosialisasi secara berkelanjutan dan memperluas jangkauan masyarakat dengan memanfaatkan sosial media dengan konten terkait dengan edukasi pengelolaan sampah organik tersebut.

Melalui langkah-langkah yang berfokus pada sosialisasi, pembuatan video tutorial, dan pemanfaatan media sosial, diharapkan dapat meningkatkan kesadaran dan partisipasi masyarakat, terutama pemuda, dalam mengelola sampah organik dengan cara yang ramah lingkungan. Pemanfaatan video tutorial sebagai alat edukasi yang dapat diakses secara luas melalui media sosial memungkinkan pengetahuan ini tersebar secara berkelanjutan dan melibatkan lebih banyak individu dalam tindakan nyata.

Program ini juga memiliki potensi untuk memberikan kontribusi ilmiah terkait dengan pengelolaan sampah organik yang berkelanjutan. Dalam pengembangan program ini, kita dapat mengumpulkan data tentang seberapa efektif video tutorial dan sosialisasi dalam meningkatkan pengetahuan dan kesadaran masyarakat mengenai *eco enzyme*. Berdasarkan hasil survei dan kuisisioner yang dilakukan setelah sosialisasi dan implementasi challenge, dapat diperoleh temuan-temuan yang berguna untuk pengembangan lebih lanjut tentang pengelolaan sampah rumah tangga.

Selain itu, kontribusi penting dari program ini adalah memanfaatkan teknologi digital dan media sosial sebagai alat untuk memperluas jangkauan edukasi, mengingat era digital saat ini memungkinkan akses informasi yang lebih cepat dan luas. Hal ini akan mendukung pengembangan model pengelolaan sampah organik yang dapat diterapkan secara masif di masyarakat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pengelolaan sampah organik telah menjadi fokus penting dalam upaya pelestarian lingkungan, karena sampah ini seringkali menghasilkan emisi gas metana yang berkontribusi pada pemanasan global. Menurut berbagai penelitian, salah satu solusi yang efektif untuk mengelola sampah organik adalah dengan mengubahnya menjadi *eco enzyme*. *Eco enzyme* merupakan hasil fermentasi sampah organik, seperti sisa makanan, yang menghasilkan cairan enzimatik yang dapat digunakan untuk berbagai tujuan, seperti pembersih rumah tangga, pupuk, dan pestisida alami (PoomvanPong & Oan, 2016). Penelitian oleh Nguyen dan Tran (2020) juga menunjukkan bahwa *eco enzyme* yang dihasilkan dari sampah organik tidak hanya bermanfaat dalam mengurangi pencemaran air, tetapi juga dapat meningkatkan kesuburan tanah, serta berfungsi sebagai alternatif pengelolaan sampah yang ramah lingkungan.

Beberapa studi mengungkapkan potensi besar *eco enzyme* dalam mengurangi volume sampah yang dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Misalnya, Adnan dan Hossain

(2021) menyoroti bahwa *eco enzyme* yang dihasilkan melalui proses fermentasi memiliki manfaat ganda: mengurangi sampah organik sekaligus menggantikan produk kimia berbahaya di rumah tangga. Mereka juga mencatat bahwa penerapan *eco enzyme* pada tingkat rumah tangga dapat mengurangi ketergantungan pada bahan kimia yang merusak lingkungan. Selain itu, Sari dan Wulandari (2019) dalam penelitian mereka menegaskan bahwa *eco enzyme* dapat memberikan solusi jangka panjang dalam pengelolaan sampah organik, baik di tingkat individu maupun komunitas, dengan mengoptimalkan proses fermentasi untuk menghasilkan cairan yang lebih efektif.

Selain manfaat lingkungan, beberapa studi juga menekankan pentingnya edukasi dan sosialisasi dalam mengadopsi teknologi *eco enzyme*. Kusumawati dan Wijaya (2022) mengidentifikasi bahwa pengoptimalan proses pembuatan *eco enzyme* di rumah tangga dapat meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya pengelolaan sampah organik secara bertanggung jawab. Penggunaan teknologi, seperti video tutorial dan media sosial, dapat mempercepat penyebaran informasi dan meningkatkan partisipasi masyarakat dalam mengurangi sampah rumah tangga melalui pembuatan *eco enzyme* (Sundar & Ramaswamy, 2021). Dengan demikian, *eco enzyme* tidak hanya berfungsi sebagai solusi untuk mengurangi sampah, tetapi juga dapat menjadi alat edukasi yang efektif untuk mendorong masyarakat berperan aktif dalam menjaga kelestarian lingkungan.

Dari pembahasan studi pustaka di atas, dapat disimpulkan bahwa *eco enzyme*, hasil fermentasi sampah organik, merupakan solusi efektif untuk mengelola sisa makanan dan mengurangi dampak lingkungan. *Eco enzyme* tidak hanya mengurangi volume sampah yang dibuang ke TPA, tetapi juga memberikan manfaat lain, seperti pembersih rumah tangga dan pupuk alami (PoomvanPong & Oan, 2016; Adnan & Hossain, 2021). Dengan memanfaatkan teknologi, seperti

video tutorial dan media sosial, edukasi tentang pembuatan *eco enzyme* dapat menjangkau masyarakat lebih luas dan mempercepat perubahan perilaku ramah lingkungan (Sari & Wulandari, 2019; Kusumawati & Wijaya, 2022).

Oleh karena itu, edukasi pengelolaan sampah organik melalui pembuatan *eco enzyme* dapat menjadi kampanye efektif untuk menjaga lingkungan, terutama di kalangan pemuda Kota Batam. Inovasi teknologi berupa video tutorial yang dapat diakses secara online akan menjadi alat sosialisasi yang berkelanjutan. Dengan memanfaatkan media sosial, diharapkan masyarakat, khususnya pemuda, dapat lebih termotivasi untuk mengelola sampah organik di rumah mereka, menciptakan dampak positif yang lebih luas dan berkelanjutan dalam menjaga lingkungan

III. METODE



Gambar 1. Diagram pelaksanaan pengabdian eco-enzyme

Sesuai dengan Gambar 1. pengabdian ini dimulai dengan pengembangan konten video tutorial yang informatif dan edukatif tentang pengelolaan sampah organik menjadi *eco enzyme*. Konten ini dibuat melalui koordinasi dengan mitra/ praktisi *eco enzyme*, yang akan membantu dalam proses pembuatan video, mulai dari penyusunan skrip, pengambilan gambar, hingga penyuntingan dan pengeditan video. Setelah video selesai, langkah selanjutnya adalah pembuatan dan pengelolaan akun media sosial untuk mempromosikan materi edukasi kepada masyarakat luas. Melalui platform ini, video tutorial akan diunggah dan dipromosikan untuk menjangkau audiens yang lebih besar, khususnya melalui promosi di media sosial dan saluran digital lainnya.

Kemudian, merencanakan sosialisasi dan edukasi, dengan menentukan tema, pembicara, lokasi, dan waktu pelaksanaan. Sosialisasi ini akan dipromosikan melalui berbagai saluran, seperti selebaran, undangan langsung, dan melalui media sosial. Pada saat pelaksanaan, seminar akan mengundang ahli dan praktisi untuk pengelolaan sampah organik dan pembuatan *eco enzyme*. Bersamaan dengan itu, video tutorial akan diluncurkan secara resmi, dan peserta akan diajak untuk berpartisipasi dalam challenge pengolahan limbah rumah tangga organik dengan mengikuti syarat dan ketentuan yang telah ditetapkan. Setelah sosialisasi selesai, tim membuat evaluasi yang mencakup rangkuman dari setiap kegiatan yang telah dilaksanakan serta evaluasi terhadap partisipasi dan respons peserta dengan kuisioner untuk melihat impact dari proses sosialisasi dan edukasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang dijelaskan pada bagian ini mengikuti tahapan yang telah disampaikan sebelumnya pada bagian metode. Pertama melakukan kajian dan diskusi bersama praktisi *eco enzyme* terkait konten dan tahapan yang benar dalam pembuatan tutorial *eco enzyme*, kemudian merencanakan kegiatan sosialisasi dan edukasi sekaligus peluncuran video yang dibuat. Selanjutnya setelah semua proses edukasi, sosialisasi dan peluncuran video selesai selanjutnya dilakukan evaluasi terkait respon peserta terhadap kegiatan sosialisasi dan setelah menonton video tutorial yang diluncurkan bersamaan dengan kegiatan. Proses evaluasi berupa pengisian kuisioner oleh peserta yang akan diolah hasilnya. Selanjutnya yang akan dilihat hasil dari challenge yang dibuat sebagai partisipasi peserta dalam *eco enzyme challenge*.

4.1. Penyelenggaraan Edukasi dan Sosialisasi Eco enzyme, Peluncuran Video dan Pengumuman Informasi Challenge

Sosialisasi dalam rangka edukasi *eco enzyme* di Pagelaran Vokasi Polibatam pada [5-6 Agustus 2024]. Kegiatan ini dirancang untuk memberikan pemahaman mendalam tentang pengolahan sampah organik untuk dijadikan *eco enzyme*. Tim Dosen juga bekerja sama dan mengundang Yayasan *Eco enzyme* Indonesia yang diketuai oleh Ibu Elviana. Acara dimulai dengan penayangan video edukasi yang menggambarkan proses pembuatan *eco enzyme* dan manfaatnya dalam mengelola sampah organik dari dapur rumah tangga. Selama acara, peserta juga menerima toolkit dan brosur yang berisi panduan lengkap untuk membuat *eco enzyme* di rumah serta informasi yang menjelaskan cara penggunaan *eco enzyme* dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu, peserta memiliki kesempatan untuk melihat hasil *eco enzyme* yang telah diproduksi sebelumnya.



Gambar 2. Gambar Video Tutorial Publikasi Youtube



Gambar 3. Tim Dosen pada saat acara edukasi dan sosialisasi *eco enzyme*

4.2. Evaluasi Hasil dari penyelenggaraan acara dan respon setelah menonton video tutorial

Evaluasi dari penyelenggaraan edukasi dan sosialisasi berupa kuisisioner yang berisi pertanyaan dengan kategori sebagai berikut:

Tabel 1. Target Pertanyaan Kuisisioner

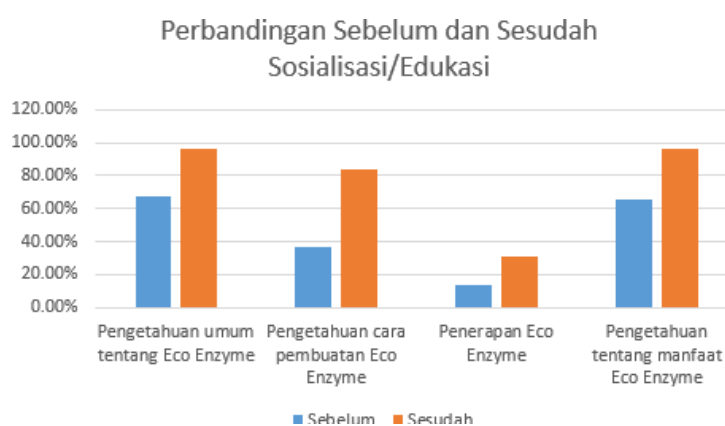
Soal	Target Pertanyaan Kuisisioner
S1	Pengetahuan umum peserta terkait dengan <i>Eco enzyme</i>
S2	Pengetahuan peserta tentang cara pembuatan <i>Eco enzyme</i>
S3	Penerapan <i>Eco enzyme</i> sebelum dan setelah sosialisasi
S4	Pengetahuan tentang manfaat <i>Eco enzyme</i>
S5	Ketertarikan untuk menggunakan <i>eco enzyme</i>
S6	Manfaat sosialisasi

Hasil kuisisioner yang disebarakan kepada 156 responden yang menghadiri acara sosialisasi dan edukasi terkait *eco enzyme* menunjukkan analisis sebelum dan sesudah acara. Berdasarkan karakteristik demografi responden, mayoritas peserta berasal dari kalangan mahasiswa Politeknik Negeri Batam (Polibatam) dan siswa SMA/SMK di Batam. Sebagian besar responden adalah mahasiswa, yang mencakup sekitar 55% dari total peserta, dengan rentang usia 18 hingga 25 tahun. Sisanya, sekitar 45%, merupakan siswa SMA dan SMK yang berusia antara 16 hingga 18 tahun. Dalam kuisisioner ini, terdapat dua bagian utama: pertanyaan sebelum acara dan pertanyaan setelah acara. Pertanyaan sebelum acara terdiri dari empat soal, yang diberi kode S1 hingga S4, sementara pertanyaan setelah acara terdiri dari enam soal, yang diberi kode S2 hingga S6. Jawaban "ya" diberikan nilai 1, sedangkan jawaban "tidak" diberikan nilai 0. Kuisisioner ini bertujuan untuk mengukur pemahaman dan perubahan pengetahuan responden terkait *eco enzyme* setelah mengikuti acara sosialisasi tersebut.

Tabel 2. Hasil Kuisisioner

R	Sebelum				Setelah					
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S5	S6
R1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
R2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R3	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
R4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R5	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
R6	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1
R7	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
.										
.										
R156	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
Jumlah	105	58	22	102	150	130	49	150	147	149
Total	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156
%	67.31	37.18	14.10	65.38	96.15	83.33	31.41	96.15	94.23	95.51

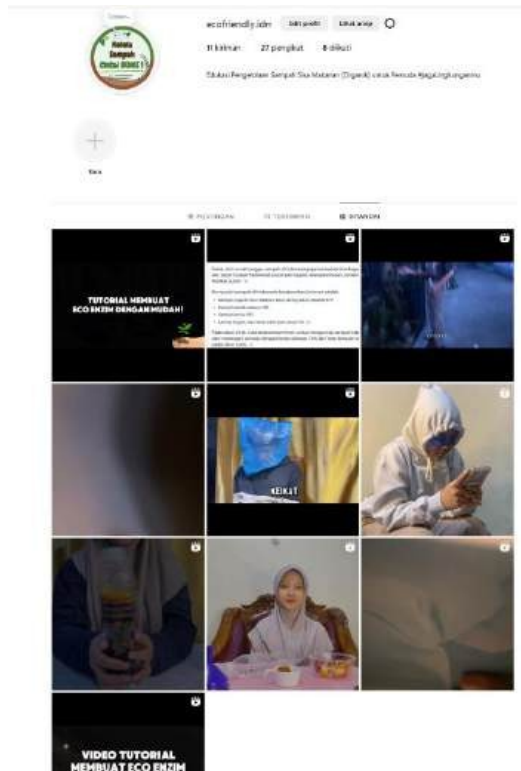
Kuisisioner dibagikan kepada 156 responden untuk mengukur tingkat pengetahuan umum peserta terkait *eco enzyme*, pengetahuan mengenai cara pembuatan *eco enzyme*, pemahaman tentang manfaat *eco enzyme*, ketertarikan untuk menggunakan *eco enzyme*, serta manfaat yang diperoleh dari sosialisasi tersebut. Setelah itu, dilakukan perbandingan antara tingkat pengetahuan sebelum dan sesudah proses sosialisasi edukasi. Berdasarkan hasil kuisisioner, terlihat adanya peningkatan signifikan dalam hal pengetahuan umum peserta terkait *eco enzyme*, cara pembuatan *eco enzyme*, serta manfaat dari *eco enzyme*. Peningkatan ini dapat dilihat pada diagram yang disajikan di bawah ini.



Gambar 4. Diagram perbandingan hasil kuisisioner sebelum dan setelah sosialisasi *eco enzyme*

Selain itu ketertarikan peserta untuk menggunakan *eco enzyme* mencapai 94.23% dan manfaat sosialisasi mencapai 95.51%.

4.3. Keterlibatan Peserta dengan mengikuti challenge pembuatan video eco enzyme



Gambar 5. Gambar Peserta yang mengikuti Video Challenge

V. KESIMPULAN

Pengabdian ini berhasil meningkatkan pengetahuan dan kesadaran masyarakat, khususnya pemuda, tentang pengelolaan sampah organik dengan menggunakan *eco enzyme*. Hasil kuisioner yang melibatkan 156 responden, yang terdiri dari mahasiswa Politeknik Negeri Batam (Polibatam) dan siswa SMA/SMK di Batam, menunjukkan peningkatan signifikan dalam pengetahuan peserta mengenai *eco enzyme*, cara pembuatannya, dan manfaatnya.

Metode pengabdian ini mencakup sosialisasi, penayangan video tutorial, serta ajakan langsung untuk praktik pembuatan *eco enzyme* dan pembuatan video tutorial. Pendekatan ini berhasil menarik perhatian peserta, dengan 94,23% peserta menunjukkan ketertarikan untuk menggunakan *eco enzyme* dan 95,51% peserta merasakan manfaat dari sosialisasi yang dilakukan. Selain itu, peserta juga aktif terlibat dalam pembuatan *eco enzyme* dan membuat video tutorial sebagai bagian dari tantangan yang diadakan.

Dengan demikian, pengabdian ini berhasil mendorong partisipasi pemuda dalam pengelolaan sampah organik yang ramah lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada pemberi dana yaitu Politeknik Negeri Batam khususnya Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (P3M) serta Jurusan Teknik Informatika yang telah memberikan dukungan terhadap pengabdian ini. Ucapan terima kasih juga untuk yayasan *eco enzyme* Indonesia, tim dosen dan mahasiswa yang terlibat dalam kegiatan pengabdian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] DataBox Katadata. (2023). Indonesia menghasilkan sampah sisa makanan pada tahun 2023 mencapai 40,9%. DataBox. <https://www.databox.katadata.co.id>
- [2] PoomvanPong, R., & Oan, J. (2016). *Eco enzyme*: The biological solution for waste management. *Journal of Sustainable Agriculture*, 12(3), 45-52.
- [3] World Resources Institute. (2023). Interactive chart shows changes in world's top 10 emitters. <https://www.wri.org/insights/interactive-chart-shows-changes-worlds-top-10-emitters>
- [4] Nguyen, T. T. T., & Tran, T. T. (2020). Application of eco-enzyme from organic waste for household wastewater treatment and agriculture. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(30), 37797-37804.
- [5] Adnan, M., & Hossain, M. M. (2021). Valorization of organic waste into eco-enzyme for sustainable waste management. *Waste Management & Research*, 39(4), 477-487.
- [6] Sari, D. P., & Wulandari, D. (2019). The potential of *eco enzyme* from organic waste as an alternative for sustainable waste management. *Journal of Environmental Management*, 245, 123-130.
- [7] Kusumawati, H., & Wijaya, M. (2022). Optimization of organic waste fermentation to produce *eco enzyme* for sustainable household waste management. *Sustainable Environmental Research*, 32(2), 79-88.
- [8] Tiwari, P., & Kumar, R. (2020). Eco-enzyme production and its applications in wastewater treatment. *Environmental Technology*, 41(6), 832-842.
- [9] Smith, H., & Johnson, P. (2020). The role of community education in organic waste management: A study on eco-enzyme. *Waste Management and Research Journal*, 38(9), 1005-1015.
- [10] Bhardwaj, P., & Rani, M. (2021). Eco-enzyme as a sustainable solution for organic waste management and its potential applications. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 56(3), 185-195.
- [11] Chandra, R., & Patel, A. (2022). Exploring the benefits and applications of eco-enzyme in sustainable agriculture and waste management. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(5), 2541-2551.