

STUDI LITERATURE POTENSI PENGGUNAAN ECO ENZYME SEBAGAI ALTERNATIF TATA LAKSANA KIMIAWI PADA LIMBAH PEMINDANGAN

Pande Ayu Naya Kasih Permatananda^{1)*}, I Gde Suranaya Pandit²⁾,
Putu Nita Cahyawati³⁾, Asri Lestarini⁴⁾

^{1,3,4}Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Warmadewa, Denpasar

²Fakultas Pertanian, Universitas Warmadewa, Denpasar

¹email: nayakasih@gmail.com

²email: suranaya_pandit@yahoo.com

³email: putunitacahyawati@gmail.com

⁴email: asrilestarini@gmail.com

Informasi Artikel

Riwayat Artikel :

Submit, 30 September 2022

Revisi, 15 Januari 2023

Diterima, 2 April 2023

Publish, 15 Mei 2023

Kata Kunci :

Eco enzyme

limbah

tata laksana kimiawi

limbah pemindangan

Bali

ABSTRAK

Pemindangan merupakan salah satu upaya pengawetan ikan tradisional dengan metode perebusan dan penggaraman yang banyak dilakukan oleh masyarakat Indonesia, khususnya di Bali. Limbah perikanan terutamanya limbah cair yang dibuang ke sungai bisa mengakibatkan pencemaran, seperti mengganggu ekosistem air, menurunkan kadar *oxygen demand*, mengganggu kesehatan serta memunculkan bau yang tidak enak. Eco enzyme merupakan larutan zat organik kompleks yang diproduksi dari proses fermentasi sampah organik, gula, dan air. Studi ini merupakan studi kajian pustaka untuk melihat potensi penggunaan eco enzyme sebagai alternatif tata laksana kimiawi terhadap limbah perikanan, khususnya pemindangan. Sebagai larutan fermentasi organik, eco enzyme dapat diartikan sebagai salah satu komponen aditif kimiawi pada komponen sistem tata laksana limbah, seperti halnya desinfektan. Desinfektan tidak selalu membunuh mikroorganisme karena terdapat beberapa mikroorganisme yang resistant. Desinfektan yang biasa digunakan berasal dari bahan baku kimiawi yang pada dasarnya fungsinya adalah untuk membersihkan area yang mentransmisikan mikroorganisme. Dalam hal ini penggunaan eco enzyme sebagai desinfektan juga dapat menjadi satu langkah pengurangan penggunaan bahan kimia dengan beralih kembali pada bahan alami. Eco enzyme memiliki potensi sebagai alternatif tata laksana kimiawi dengan menurunkan kadar TSS, TDS, pH, BOD, COD, dan amonia pada limbah, termasuk limbah pemindangan.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license



Corresponding Author:

Nama Pande Ayu Naya Kasih Permatananda

Afiliasi Fakultas Kedokteran Universitas Warmadewa

Email nayakasih@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan peningkatan produksi perikanan Indonesia, semakin meningkat pula metode dan teknik pengolahan ikan baik modern dan tradisional yang dilakukan di Indonesia. Pemindangan merupakan salah satu upaya

pengawetan ikan tradisional dengan metode perebusan dan penggaraman yang banyak dilakukan oleh masyarakat Indonesia, khususnya di Bali. Bali memiliki salah satu sentra pemindangan ikan terbesar Indonesia yang berada di Desa Dawan, Klungkung. Proses pemindangan ikan pada dasarnya terdiri dari

beberapa proses. Setelah ikan dibersihkan, ikan diletakkan pada keranjang bambu, digarami, dan direbus pada air mendidih selama 30 menit (Pandit & Permatananda, 2019; Permatananda et al., 2019). Proses pemindangan ikan ini tidak hanya menghasilkan produk berupa pindang, namun juga menghasilkan produk sisa atau limbah yang mencemari lingkungan (Astuti, 2019).

Limbah ialah sisa hasil kegiatan individu yang mempunyai karakteristik padat, organik/anorganik, bisa terurai maupun tidak terurai dan tidak memiliki manfaat sehingga cenderung dibuang ke lingkungan sekitar (Rochyani et al., 2020). Limbah yang berasal dari pengolahan ikan terutama limbah cair mengandung protein dan lemak yang menyebabkan kandungan nitrat dan ammonia menjadi tinggi. Kandungan bahan organik yang tinggi tersebut menghabiskan oksigen yang larut pada limbah, menyebabkan timbulnya bau tak sedap dan bersifat toksik bagi biota perairan jika langsung dibuang ke sungai atau ke laut (Lestarini et al., 2022; Pandit, 2018). Studi observasi tahun 2018 di Sentra Pemindangan Ikan Kusamba didapatkan beberapa jenis limbah meliputi: limbah padat berupa potongan kepala atau tubuh ikan, sisik, dan tulang ikan, serta limbah cair yang berasal dari darah, air cucian, air rebusan, serta blok es yang mencair. Limbah tersebut dibuang ke dalam parit yang berada dekat blok pemindangan sehingga aliran parit sering tersumbat dan menimbulkan bau tidak sedap (Permatananda et al., 2019).

Eco enzyme ialah zat berwarna coklat gelap yang muncul dari proses fermentasi sampah organik bersama air dan gula (Hemalatha & Visantini, 2020). Zat yang ramah lingkungan ini mudah untuk diproduksi dan digunakan, diantaranya sebagai pembersih lantai, desinfektan, insektisida, dan cairan pembersih selokan. Kandungan alkohol dan asam asetat sebagai akibat dari proses fermentasi menyebabkan zat ini dapat berfungsi sebagai desinfektan (Djaya et al., 2014; Larasati et al., 2020).

Eco enzyme yang selama ini diteliti berasal dari berbagai aneka ragam limbah rumah tangga, seperti kulit nanas dan papaya (Rochyani et al., 2020), kulit jeruk, kulit alpukat, kulit semangka, dan kulit papaya (Larasati et al., 2020), kulit jeruk saja (Sambaraju & Lakshmi, 2020), dan sebagainya. Sebagian besar penelitian sebelumnya menggunakan kulit nanas sebagai bahan baku pembuatan eco enzyme. Sisa buah dan sayur sesungguhnya bisa dijadikan sebagai bahan baku untuk membuat eco enzyme. Nanas banyak digunakan dengan alasan nanas mengandung enzim amilase, kaseinase, dan protease yang tinggi. Riset Sambaraju & Lakshmi (2020) menemukan eco enzyme yang dibuat dengan kulit jeruk selama 4 minggu didapatkan memiliki PH 3,8; TDS 1053 mg/l; BOD 75 mg/dl; dan COD 148 mg/dl). Eco enzyme yang berasal dari kulit jeruk memiliki PH yang asam dan kandungan organik yang

lebih tinggi, sehingga memiliki kadar BOD yang lebih tinggi (Sambaraju & Lakshmi, 2020).

Hingga saat ini penelitian terkait tata laksana limbah pemindangan belum banyak diteliti. Berbagai tata laksana sudah dilakukan pada limbah pemindangan secara fisik, kimiawi, dan biologi namun belum menghasilkan limbah yang ramah lingkungan. Studi ini merupakan studi kajian pustaka untuk melihat potensi penggunaan eco enzyme sebagai alternatif tata laksana kimiawi terhadap limbah perikanan, khususnya pemindangan.

2. METODE PENELITIAN

Studi ini merupakan studi kajian pustaka dengan mencari pustaka-pustaka yang relevan, lalu dilakukan telaah, dan dilaporkan secara narasi deskriptif. Pustaka yang digunakan dicari dengan menggunakan *search engine google* dengan kata kunci "eco enzyme", "garbage enzyme", "fish processing", "waste treatment", "pemindangan". Pustaka tersebut kemudian dipelajari dengan seksama, dianalisis sesuai dengan kebutuhan studi yaitu manfaat eco enzyme untuk limbah pemindangan, dan disajikan secara narasi deskriptif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah Pemindangan

Pemindangan ialah suatu proses pengawetan ikan dengan cara merebus ikan pada campuran air garam dalam kisaran waktu tertentu. Terdapat beberapa jenis ikan yang bisa melalui proses ini yakni ikan tongkol, tengiri, kembung, mas, nila, dan bandeng (Permatananda et al., 2020). Akibat dari proses ini, muncul limbah cair hasil meniriskan ikan yang bisa meningkatkan kandungan BOD dan TSS karena mengandung protein dan lemak. Kondisi ini diperkuat oleh hasil riset Astuti (2019) yang menyebut jika air limbah dari proses pemindangan mampu meningkatkan kadar BOD dan COD karena bahan organik yang larut pada air tersebut. Hal ini menyebabkan munculnya bau pada permukaan air karena terjadinya dekomposisi protein dan bahan organik (Astuti, 2019).

Sebuah penelitian di Kabupaten Pati pada 2 industri pemindangan, yaitu industri A yang memproduksi 6-7 ton ikan pindang per hari dan industri B yang memproduksi 2-3 ton ikan pindang per hari. Hasil pengujian komponen limbah cair pada 2 industri pemindangan tersebut dapat dilihat pada tabel 1 (Astuti, 2019). Pengujian serupa juga pernah dilakukan pada industri pemindangan Kusamba pada tahun 2018 dengan hasil ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Limbah Cair Pemindangan

Parameter	Satuan	Pati A	Pati B	Kusamba
PH	mg/L	5,1	5,2	6,5
TSS	mg/L	2210,85	1870,652	58,80
Sulfida	mg/L	0,32	0,14	-
Amonia	mg/L	16,128	9,303	3,88
Klor Bebas	mg/L	-	-	0,88
BOD	mg/L	639,235	460,12	75
COD	mg/L	2037,28	1457,138	150
Minyak-Lemak	mg/L	13,44	6,275	15

Sumber: data sekunder (Astuti, 2019; Pandit, 2018)

Menurut peraturan Menteri Lingkungan Hidup no 5 tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha atau Kegiatan Pengolahan Hasil Perikanan Menteri Negara Lingkungan Hidup dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Perikanan

Parameter	Satuan	Kadar
PH	mg/L	6-9
TSS	mg/L	100
Sulfida	mg/L	1
Amonia	mg/L	5
Klor Bebas	mg/L	1
BOD	mg/L	100
COD	mg/L	200
Minyak-Lemak	mg/L	15

Sumber: data sekunder (Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2014)

Eco Enzyme

Eco enzyme merupakan cairan fermentasi dari sampah rumah tangga yang pertama kali diperkenalkan oleh Dr. Rasukon Poompanvong dari Thailand. Eco enzyme sendiri memiliki banyak sekali fungsi, di antaranya sebagai pembantu pertumbuhan tanaman organik, mengurangi sampah, sebagai bahan pembersih, hingga kegunaannya di bidang farmasi (Rohmah et al., 2020). Eco enzyme dapat dibuat dengan mencampurkan sampah organik seperti sisa buah dan sayur dengan gula dan air dengan perbandingan sederhana 3:1:10. Gula yang direkomendasikan untuk pembuatan larutan eco enzyme adalah gula merah sedangkan untuk sampah organik direkomendasikan sampah dan buah sayur dengan keadaan tidak terlalu kering. Penggunaan bahan ini perlu diperhatikan karena akan mempengaruhi hasil akhir dari produk eco enzyme itu sendiri. Proses fermentasi eco enzyme yang biasanya dilakukan terjadi selama 3 bulan (Patel et al., 2021). Selama bulan pertama fermentasi, alkohol akan dilepaskan, sehingga akan tercium bau alkohol dari larutan eco enzyme. Pada bulan kedua, akan tercium bau asam, yang merupakan bau asam asetat. Dengan banyak senyawa seperti mineral dan vitamin, akan terus mengalami pengrusakan yang menghasilkan enzim. Durasi minimum yang disarankan adalah 3 bulan. Setelah selesai difermentasi, produk fermentasi eco enzyme akan memiliki aktivitas mikroba yang tinggi, sehingga dapat digunakan untuk menghambat pertumbuhan mikroba (Arifin et al., 2009; Muliarta & Darmawan, 2021). Penelitian sebelumnya, karakteristik eco enzyme berbahan limbah kulit jeruk setelah fermentasi tiga bulan didapatkan PH sebesar 4,2,

yang dapat dikatakan asam. Selama proses fermentasi didapatkan senyawa asam volatile dan asam organik yang berasal dari kulit buah-buahan. Gula merah yang ditambahkan juga dipercaya mengandung senyawa organik yang tinggi. Pada fermentasi eco enzyme, terdapat faktor-faktor yang harus diperhatikan antara lain waktu, suhu, PH, sumber karbon, dan sumber nitrogen (Larasati et al., 2020).

Potensi Penggunaan Eco Enzyme untuk Limbah Pemindangan

Dalam tata laksana limbah, pengeluaran polutan organik biologis dan nutrisi adalah prioritas utama. Limbah seharusnya diberikan terapi tertentu sebelum dibuang ke lingkungan. Tujuan dari penatalaksanaan limbah adalah untuk mencapai efisiensi maksimum dengan perubahan konstran dan seminimal mungkin penggunaan ruang, waktu, dan biaya. Aditif dapat ditambahkan dalam sistem tata laksana limbah, sehingga polutan spesifik dapat didegradasikan lebih cepat. Aditif dalam tata laksana limbah dapat diklasifikasikan menjadi 2 yaitu: aditif biologi dan aditif kimia. Aditif kimia dapat berbahaya terhadap lingkungan dan seringkali tidak dianjurkan karena mengandung asam kuat, komponen basa toksik, dan mungkin menimbulkan efek samping terhadap komponen sistem, struktur tanah, ataupun air tanah. Aditif Biologi memiliki dampak yang lebih menguntungkan dibandingkan aditif kimia dan tidak berbahaya (Tang & Tong, 2011)

Sebagai larutan fermentasi organik, eco enzyme dapat diartikan sebagai salah satu komponen aditif kimiawi pada komponen sistem tata laksana limbah, seperti halnya desinfektan. Desinfektan adalah preparasi kimia yang dapat digunakan untuk menghancurkan atau mengurangi pertumbuhan mikroorganisme pada permukaan objek. Desinfektan tidak selalu membunuh mikroorganisme karena terdapat beberapa mikroorganisme yang resistant. Desinfektan yang biasa digunakan berasal dari bahan baku kimiawi yang pada dasarnya fungsinya adalah untuk membersihkan area yang mentransmisikan mikroorganisme. Dalam hal ini penggunaan eco enzyme sebagai desinfektan juga dapat menjadi satu langkah pengurangan penggunaan bahan kimia dengan beralih kembali pada bahan alami (Permatananda, 2020; Rusdianasari et al., 2021)

Terkait tata laksana limbah, pada penelitian yang dilakukan oleh Joseph (2021) didapatkan bahwa eco enzyme berbahan kulit jeruk memiliki pengaruh terhadap limbah cair rumah tangga. Penurunan COD setelah tata laksana eco enzyme disebabkan karena kandungan asam sitrat pada kulit jeruk yang mampu melarutkan larutan. Penurunan BOD juga didapatkan seiring dengan peningkatan dosis eco enzyme. Adanya enzim hidrolitik pada eco enzyme juga mengakibatkan penurunan TSS. Penurunan TDS juga terjadi setelah perlakuan dengan eco enzyme. Adanya enzim lipase pada eco enzyme juga mengakibatkan penurunan minyak dan lemak pada limbah.

Maksimum penurunan parameter pada limbah didapatkan pada dilusi eco enzyme 10% (Joseph et al., 2021).

Aplikasi eco enzyme pada air danau dilaporkan berhasil dalam menurunkan total solid dari 884 ke 745 mg/L, TSS dari 121 ke 47 mg/L., dan tidak mempengaruhi kadar klorida. Tata laksana dengan eco enzyme 0,5% pada saluran drainage didapatkan penurunan kadar BOD dari 690 ke 231 mg/L dan COD dari 537 ke 384 mg/L, nitrat dari 5.54 ke 3.39 mg/L, dan penurunan coliform sebanyak 10% (Kumar et al., 2019; Wikaningrum et al., 2023). Aplikasi eco enzyme sebagai tata laksana limbah dengan variasi konsentrasi 0%, 5%, 10%, 20%, dan 25% setelah 5 hari didapatkan penurunan TS, TSS, dan TDS (Verma et al., 2019). Selain itu eco enzyme yang berasal dari kulit jeruk sebagai tata laksana limbah setelah 5 hari menunjukkan efektivitas yang baik dengan menurunkan TS, TDS, TSS, dan BOD (Hemalatha & Visantini, 2020). Eco enzyme diperkirakan memiliki kemampuan dalam menguraikan senyawa kompleks yang terdiri dari bahan organik terlarut dan tidak terlarut sehingga meningkatkan degradasi anaerobik untuk menghasilkan gas methane dan hydrogen (Arun & Sivashanmugam, 2014).

Dibandingkan desinfektan seperti chlorine, eco enzyme yang dihasilkan dari limbah organik memiliki PH yang asam dan mengandung sejumlah besar material organik yang menghasilkan kadar BOD yang tinggi. Eco enzyme tidak mengandung nitrogen ammonia, nitrates, chlorine, dan phosphor. Larutan eco enzyme 9% diindikasikan mampu menghilangkan senyawa nitrogen ammonia dan phosphor pada limbah secara ekonomis dalam periode 5 hari (Tang & Tong, 2011). Eco enzyme menawarkan sebuah alternatif tata laksana kimiawi untuk limbah meskipun memerlukan waktu yang lebih lama, namun baik untuk digunakan dibandingkan agen kimiawi lainnya seperti Ehylenediaminetetraacetic (EDTA) yang dapat bersifat karsinogenik (Cahyawati et al., 2017; Hemalatha & Visantini, 2020).

4. KESIMPULAN

Dilihat dari karakteristiknya, eco enzyme memiliki potensi sebagai alternatif tata laksana kimiawi pada limbah. Eco enzyme dapat menurunkan kadar TSS, TDS, pH, BOD, COD, dan ammonia pada limbah, termasuk limbah hasil perikanan. Eco enzyme menawarkan sebuah alternatif tata laksana kimiawi meskipun memerlukan waktu terapi yang lebih lama, namun baik untuk digunakan dibandingkan agen kimiawi lainnya. Perlu penelitian lebih lanjut untuk dapat memastikan pengaruh eco enzyme terhadap limbah pemindangan.

5. REFERENSI

Arifin, L. W., Syambarkah, A., Purbasari, H. S., Ria, R., & Puspita, V. A. (2009). *Asian Journal of*

Food and Agro-Industry. Asian Journal of Food and Agro-Industry, Special Is, 356–359.

Arun, C., & Sivashanmugam, P. (2014). Investigation of biocatalytic potential of garbage enzyme and its influence on stabilization of industrial waste activated sludge. *Process Safety and Community*, 4(May), 471–473.

Astuti, A. D. (2019). Pemanfaatan Limbah Cair Pemindangan Ikan. *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan Dan IPTEK*, 10(2), 144–122. <https://doi.org/10.33658/jl.v10i2.83>

Cahyawati, P. N., Zahran, I., Jufri, I., & Noviana. (2017). Keracunan Akut Sianida. *Wicaksana: Jurnal Lingkungan & Pembangunan*, 1(1), 80–87.

Djaya, Y., Martana, B., & Marsudi. (2014). Eco-Enzyme Sebagai Alternatif Pengolahan Sampah Organik Berbasis Masyarakat Di Kelurahan Cempaka Putih Timur Jakarta Pusat. *Bina Widya*, 25(1), 29–34.

Hemalatha, M., & Visantini, P. (2020). Potential use of eco-enzyme for the treatment of metal based effluent. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 716(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/716/1/012016>

Joseph, A., Joji, J. G., Prince, N. M., Rajendran, R., Nainamalai, D. M., & M, D. V. (2021). Domestic Wastewater Treatment Using Garbage Enzyme. *SSRN Electronic Journal*, 361–366. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3794572>

Kumar, N., Rajshree, Y. A., Yadav, A., Malhotra, N. H., Gupta, N., & Pushp, P. (2019). Validation of eco-enzyme for improved water quality effect during large public gathering at river bank. *International Journal of Human Capital in Urban Management*, 4(3), 181–188. <https://doi.org/10.22034/IJHCUM.2019.03.03>

Larasati, D., Astuti, A. P., & Maharani, E. T. (2020). Uji Organoleptik Produk Eco-Enzyme dari Limbah Kulit Buah. *Seminar Nasional Edusainstek*, 278–283.

Lestarini, A., Subrata, T., Rusni, N. W., & Juwita, D. A. P. R. (2022). Pemberdayaan Kelompok Pekerja Bella Cafe dalam Penerapan Hygiene Perusahaan di Desa Jimbaran, Kuta, Badung. *COMSERVA: Jurnal Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat*, 1(11), 1007–1012. <https://doi.org/10.36418/comserva.v1i11.70>

Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2014). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah*.

Muliarta, I. N., & Darmawan, I. K. (2021). Processing Household Organic Waste into Eco-Enzyme as an Effort to Realize Zero Waste. *Agriwar Journal*, 1(1), 6–11.

- Pandit, I. G. S. (2018). The characteristics of waste product from the process of pemindangan in local village Bali. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 434(1), 0–6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/434/1/012148>
- Patel, B. S., Solanki, B. R., & Mankad, A. U. (2021). Effect of eco-enzymes prepared from selected organic waste on domestic waste water treatment. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 10(1), 323–333. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2021.10.1.0159>
- Permatananda, P. A. N. K., Aryastuti, A. A. S. A., Cahyawati, P. N., Udiyani, D. P. C., Wijaya, D., Pandit, I. G. S., & Wirajaya, A. A. N. M. (2020). Phytochemical and Antioxidant Capacity Test on Turmeric Extract (*Curcuma Longa*) Traditionally Processed in Bali. *Jurnal Bali Membangun Bali*, 1(135–141).
- Permatananda, P. A. N. K., Pandit, I. G. S., & Irianto, I. K. (2020). Pengembangan Produk Pindang Desa Kusamba Melalui Aplikasi Teknologi Tepat Guna dan Pengemasan Vakum. *J. PCSJ Postgraduated Community Service Journal*, 1(1), 12–18.
- Rochyani, N., Utpalasari, R. L., & Dahliana, I. (2020). Analisis hasil konversi eco enzyme menggunakan nenas (*Ananas comosus*) dan pepaya (*Carica papaya L.*). *Jurnal Redoks*, 5(2), 135. <https://doi.org/10.31851/redoks.v5i2.5060>
- Rohmah, N. U., Astuti, A. P., & Maharani, E. T. W. (2020). Organoleptic Test of The Ecoenzyme Pineapple Honey With Variations in Water Content. *Seminar Nasional Edusainstek FMIPA UNIMUS*, 408–414.
- Rusdianasari, Syakdani, A., Zaman, M., Sari, F. F., Nasyta, N. P., & Amalia, R. (2021). Production of Disinfectant by Utilizing Eco-enzyme from Fruit Peels Waste. *International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS)*, 1(3), 1–7.
- Sambaraju, S., & Lakshmi, V. S. (2020). Eco-friendly treatment of dairy wastewater using garbage enzyme. *Materials Today: Proceedings*, 33(xxxx), 650–653. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.719>
- Tang, F., & Tong, C. (2011). Garbage-Enzyme-University-Sarawak. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 60, 1143–1148.
- Verma, D., Singh, A. N., & Shukla, P. A. K. (2019). Use of Garbage Enzyme for Treatment of Waste Water. *International Journal of Scientific Resarch and Review*, 07(7), 201–205.
- Wikaningrum, T., Hakiki, R., Astuti, M. P., Ismail, Y., & Sidjabat, F. M. (2023). The Eco Enzyme Application on Industrial Waste Activated Sludge Degradation. *Indonesian*
- Journal of Urban and Environmental Technology*, 5(2), 115–133.