

Penurunan *E.Coli* pada Air Lindi TPA Benowo Menggunakan Eco Enzim

Reducing E.Coli in Benowo Landfill Leachate Using Eco Enzyme

Cindy Marta Tilana¹, Sri Widyastuti^{2*}

^{1,2} Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya
Email: ¹cindymarta1248@gmail.com, ²sriwidyastuti@unipasby.ac.id

*Penulis korespondensi : sriwidyastuti@unipasby.ac.id

Direview: 15 September 2023

Diterima: 25 Januari 2024

ABSTRAK

Air lindi dengan kandungan organik dan anorganik serta logam berat memiliki potensi untuk mencemari lingkungan. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif pengolahan air lindi. Eco enzim adalah produk akhir dari fermentasi bahan organik, gula, dan air. Penelitian ini bertujuan mengetahui efisiensi variasi penambahan eco enzim untuk menurunkan kandungan BOD, COD, dan *E.Coli* pada sampel air lindi TPA Benowo. Metoda pengumpulan data dilakukan dengan mencampurkan larutan eco enzim ke dalam reaktor yang berisikan 7 liter air lindi. Jumlah eco enzim yang di tambahkan pada perlakuan I sebesar 0,91 liter (13%); pada perlakuan II sebesar 1,169 liter (16.7%), dan pada perlakuan III sebesar 1,4 liter (20%). Analisis kadar BOD, COD, dan *E.Coli* dilakukan pada hari ke-7, ke-14, dan ke-21 pada masing-masing perlakuan. Hasil penelitian diketahui eco enzim mampu menurunkan *E.Coli* tetapi tidak dapat menurunkan BOD dan COD air lindi. Penurunan *E.Coli* tertinggi terjadi pada perlakuan I, yaitu pada penambahan eco enzim sebesar 13%. Penurunan terjadi dari konsentrasi 35.000 MPN/100 ml menjadi 1600 MPN/100 ml, atau terjadi penurunan sebesar 95%. Penurunan *E.Coli* tertinggi terjadi pada pengamatan hari ke-21.

Kata kunci: Eco enzim, fermentasi, air lindi

ABSTRACT

Leachate with organic and inorganic content and heavy metals has the potential to pollute the environment. Therefore, alternative leachate treatment is needed. A complex organic liquid called eco-enzyme is the end product of fermentation of organic matter, sugar, and water. This study aims to determine the level of efficiency of eco-enzyme dosage to reduce BOD, COD, and *E.Coli* content in Benowo landfill leachate water samples. The technique implemented in this study was to dissolve eco enzyme using doses of 13%, 16.7%, and 20% into a reactor containing 7 liters of leachate water. Analysis of BOD, COD, and *E.Coli* levels was conducted on the 7th, 14th, and 21st day of each treatment. The results showed that the eco enzyme was able to reduce *E.Coli* but could not reduce BOD and COD of leachate water. The highest *E.Coli* reduction occurred at a dose of 13% from a concentration of 35000 MPN/100 ml to 1600 MPN/100 ml (95%). The highest decrease in *E.Coli* occurred on the 21st day of observation from a concentration of 35000 MPN/100 ml to 1600 MPN/100 ml (95%).

Keywords: Eco enzyme, fermentation, leachate

1. PENDAHULUAN

Air lindi yang masuk ke dalam tanah dapat menyebabkan permasalahan lingkungan berupa rusaknya air tanah karena kandungan polutan air lindi dan adanya mikroba patogen. Air lindi yang mengandung bahan organik, anorganik maupun logam berat berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan, apalagi jika Tempat Pembuangan Akhir (TPA) tidak memiliki lapisan kedap air yang baik. Untuk menanggulangi masalah air lindi, harus dilakukan pengelolaan air lindi di lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

Terdapat beberapa kajian berkaitan dengan upaya pengelolaan air lindi agar terjadi penurunan kadar polutan air lindi. Hadiwidodo (2017) menggunakan metode koagulasi-flokulasi dan metode ozonasi untuk menurunkan kadar polutan dalam air lindi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan koagulan sebesar 16 g/L dilanjut proses ozonisasi dengan dosis 60 ppm mampu menurunkan kadar BOD, COD, dan TSS sebesar 68%, 74%, dan 48%.

Penelitian Muliarta (2023) menunjukkan bahwa penggunaan eco enzim pada tumpukan sampah di TPA Suwung Denpasar belum mampu menurunkan kandungan COD, BOD, Nitrogen, dan pH; akan tetapi terjadi peningkatan kadar. Demikian pula terjadi peningkatan suhu tumpukan sampah, hal ini menunjukkan terjadi peningkatan reaksi dekomposisi zat organik yang ada pada tumpukan sampah.

Penelitian untuk mengevaluasi efisiensi penghilangan COD dari lindi TPA dilakukan dengan mengolah menggunakan dengan empat jenis eco enzim berbeda pada dua suhu (suhu ruangan 27 ± 3 °C dan suhu lebih tinggi 42 ± 3 °C). Empat jenis eco enzim sampah yang berbeda diolah dengan lindi TPA dengan rasio pencampuran yang berbeda yaitu 5%, 10%, 15% dan 20%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa eco enzim berbahan dasar jeruk pada rasio 10% dan berbahan dasar lemon pada 15% mempunyai penurunan COD maksimum masing-masing sebesar 68,24% dan 67,89% pada suhu kamar. Sampel yang disimpan pada suhu kamar menunjukkan kelarutan dan penghilangan COD yang lebih baik dibandingkan sampel pada suhu yang lebih tinggi (Nalladiyil, Prakash dan Babu, 2023).

Penambahan enzim untuk mengolah limbah cair mampu menciptakan produk yang kurang beracun, sehingga dapat dihilangkan dengan mudah dari badan air. Tetapi enzim komersial terlalu mahal dan tidak ekonomis jika diterapkan pada pengolahan (Nalladiyil, Prakash, & Babu, 2023). Diharapkan eco enzim mampu untuk menggantikan enzim komersial. Cairan organik kompleks yang disebut eco-enzim adalah produk akhir dari fermentasi bahan organik, gula, dan air (Low, Ling, & Teo, 2021). Eco enzim memiliki warna kecoklatan yang lebih terang atau keruh, bergantung pada jenis bahan organik yang dipakai untuk bahan pembuatnya (Rochyani, Utpalasari, dan Dahliana, 2020). Eco enzim dihasilkan melalui proses fermentasi limbah buah dan sayur secara anaerobik, dengan penambahan air dan gula merah atau molase. Perbandingan air, limbah organik dan molase atau gula merah adalah 10:3:1 dan difermentasi selama 3 bulan (Verma, Singh, dan Shukla, 2019).

Enzim yang ada dalam eco enzim memecah molekul limbah yang panjang dan kompleks melalui reaksi hidrolitik, menjadi molekul sederhana yang kemudian dapat dicerna langsung oleh bakteri. Enzim pada air limbah ini telah digunakan secara luas dalam upaya menghilangkan berbagai kontaminan dari air limbah. (Kerkar, Maharashtra, dan Salvi, 2020; Low, Ling, dan Teo, 2021; Rasit, Fern, dan Ghani, 2019 dan Nazim, 2017).

Adapun tujuan penelitian ini adalah dengan variasi rasio penambahan eco enzim dan lama waktu pencampuran, dapat menurunkan parameter BOD, COD, dan E. Coli pada air lindi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mula-mula dilakukan pembuatan larutan eco enzim yang difermentasi selama 3 bulan. Kemudian melakukan pengambilan sampel air lindi TPA Benowo, sebelum perlakuan dilakukan uji awal kandungan BOD, COD, dan E. Coli. Variasi rasio pemberian eco enzim pada setiap tiap perlakuan adalah perlakuan I pada Reaktor 1 sebesar 13%, perlakuan II pada Reaktor 2 sebesar 16,7%, dan perlakuan III pada Reaktor 3 sebesar 20%. Masing-masing reaktor berisi 7 liter sampel air lindi. Variasi lama waktu kontak pada tiap reaktor adalah 7 hari, 14 hari dan 21 hari. Pengamatan dilakukan pada hari ke-7, ke-14, dan ke-21.

2.1. Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam eksperimen ini adalah larutan eco enzim yang telah di fermentasi selama 3 bulan. Berbahan limbah dari kulit buah pepaya, kulit nanas, kulit semangka, kulit mangga, sisa sayur kubis, batang kangkung, air, dan molase. Air lindi sebanyak 28 liter, reaktor penelitian berbahan plastik, kertas label, timbangan, batang pengaduk.

2.2. Proses Pembuatan Eco Enzyme

Kulit pepaya, kulit nanas, kulit semangka, kulit mangga, kubis, kangkung merupakan sampah organik yang digunakan yang berjumlah 720 gram dipotong kecil-kecil sekitar 1-3 cm dimasukkan kedalam reaktor kedap udara yang telah berisikan 2,4 liter air dan 240 gram molase dengan perbandingan 10:3:1. Semua bahan dicampur kemudian di fermentasi dalam jangka 3 bulan pada suhu ruangan. Setelah itu, larutan hasil fermentasi disaring terlebih dahulu sebelum digunakan untuk menghilangkan endapan dari poses fermentasi (Widyastuti,2023). Kemudian eco enzim ditakar sebanyak 0 ml (R Kontrol), (R1= kadar eco enzim 13%), (R2= kadar eco enzim 16,7%) dan (R3= kadar eco enzim 20%). Eco enzim yang telah ditakar dimasukkan ke dalam masing-masing reaktor yang berisi air lindi sebanyak 7000 ml dan di aduk agar homogen. Setelah tercampur rata dan ditutup rapat, reaktor didiamkan dalam jangka waktu 21 hari, dilakukan pengambilan sampel uji di hari ke-0, ke-7, ke-14, dan ke-21.

2.3. Analisis Kadar BOD, COD, dan E. Coli pada Air Lindi

Analisis yang dilakukan menggunakan metode Lovibon BOD System BD-600 menurut SNI 6989.72:2009 untuk analisis BOD, menurut SNI SNI 6989.2:2019 untuk analisis COD, dan metode MPN untuk analisis E. Coli.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Eco Enzim

Eco enzim dari kulit pepaya, kulit nanas, kulit semangka, kulit mangga, kubis, dan kangkung serta air dan molase memiliki warna kuning kecoklatan, aroma asam khas dari fermentasi dan memiliki tingkat pH sekitar 3,83, yang memenuhi persyaratan pH eco enzim, yaitu kurang dari 4.



Gambar-1. Karakteristik Eco Enzim

Adapun temuan uji kandungan BOD, COD, dan E. Coli pada eco enzim terdapat pada Tabel-1.

Tabel-1. Uji Awal Eco Enzim

Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
BOD	mg/L	88733	Lovibon BOD System BD-600
COD	mg/L	60516	SNI 6989.2:2019
E.Coli	MPN/gr	<3	MPN

3.2. Karakteristik Air Lindi

Bedasarkan pengamatan secara fisik, air lindi berwarna hitam keruh, sedikit berbuih, dan sangat berbau. Berdasarkan hasil analisis pada limbah air lindi melampaui standar yang telah ditetapkan oleh Permen LKH RI No. 59 Tahun 2016 mengenai kualitas limbah air lindi



Gambar- 2. Kondisi Fisik Air Lindi

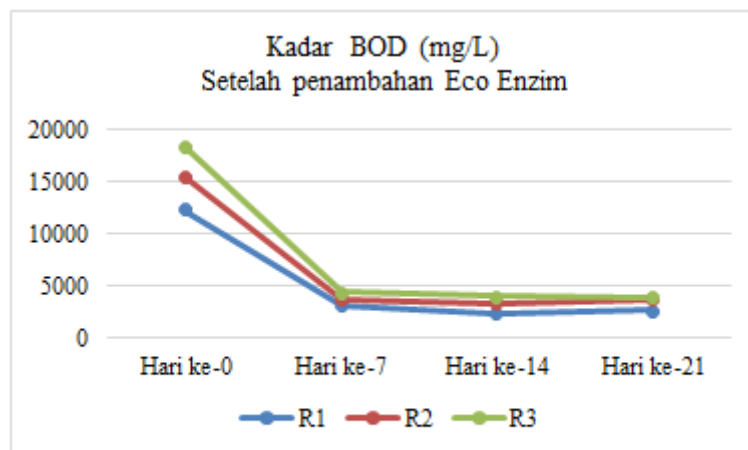
Temuan pengujian kandungan COD, BOD dan TSS pada air lindi TPA Benowo sebelum ditambahkan eco enzim terdapat pada tabel di bawah ini.

Tabel-2. Uji Awal Air Lindi

Parameter	Baku Mutu (mg/L)	Hasil (mg/L)
BOD	150	752
COD	300	3966
E.Coli	-	35000

3.3. Analisa BOD

Kadar BOD dalam air lindi mengalami peningkatan setelah ditambahkan eco enzim, hal ini dikarenakan eco enzim yang membawa beban BOD yang mengakibatkan kenaikan kadar BOD. Penurunan paling tinggi terjadi pada reaktor 1 dengan dosis eco enzim 13%, dari kadar 12228 mg/L menjadi 2449 mg/L pada hari ke-14, kemudian naik lagi menjadi 2679mg/L pada hari ke 21. Sedangkan penurunan paling rendah terjadi pada reaktor 4 dengan dosis 20% pada hari ke-7 dengan kadar 3094 mg/L. Selama 21 hari pengecekan, kadar BOD memang mengalami penurunan namun masih lebih tinggi dari kadar awal air lindi.



Gambar- 3. Hasil Analisis Kadar BOD

Keterangan:

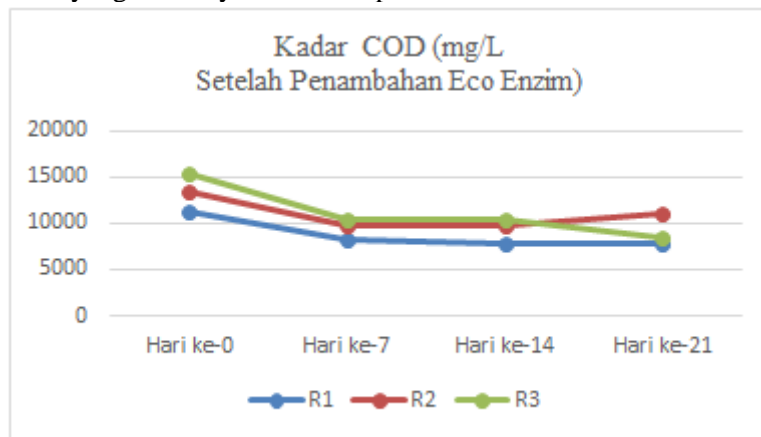
- R Kontrol = Reaktor tanpa penambahan eco enzim
- R1 = Reaktor dengan dosis eco enzim 13%
- R2 = Reaktor dengan dosis eco enzim 16,7%
- R3 = Reaktor dengan dosis eco enzim 20%

3.4. Analisa COD

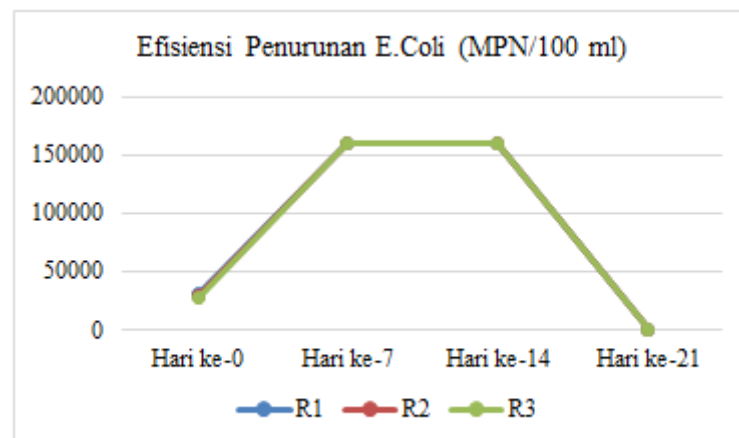
Kadar COD dalam air lindi mengalami peningkatan setelah ditambahkan eco enzim, hal ini dikarenakan eco enzim yang membawa beban COD yang mengakibatkan kenaikan kadar COD. Penurunan paling tinggi terjadi pada reaktor 1 dengan penambahan eco enzim 13%, terjadi penurunan kadar dari 11342 mg/L menjadi 8364 mg/L pada hari ke-21. Sedangkan penurunan paling rendah terjadi pada reaktor 2 dengan dosis 16,7% di hari ke-21 yaitu sebesar 10996 mg/L. Sama halnya dengan BOD, selama 21 hari pengecekan, kadar COD mengalami penurunan namun masih lebih tinggi dari kadar awal air lindi.

3.5. Analisa E. Coli

Kandungan E.Coli dalam air lindi terjadi penurunan kadar pada parameter *E.Coli* hanya pada hari ke-21, dan terjadi kenaikan dari limbah awal pada waktu inkubasi hari ke-7 dan ke-14. Penurunan terjadi pada hari ke-21 di ketiga reaktor dengan hasil yang sama yakni penurunan sebesar 95%. Pada hari ke-7 dan ke-14 semua reaktor mengalami kenaikan yang drastis yakni mencapai 357%.



Gambar- 4. Hasil Analisa Kadar COD



Gambar- 5. Hasil Analisis Kadar E.Coli

Hasil penelitian menunjukkan bahwa eco enzim dari limbah organik berupa kulit buah dan sayur, kulit pepaya, nanas, semangka, mangga, kubis, dan kangkung, tidak dapat menurunkan BOD dan COD. Kondisi ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Muliarta (2023). Akan tetapi, penambahan eco enzim dapat menurunkan kadar *E. Coli* terutama pada variasi penambahan eco enzim sebesar 13%. Penurunan terbesar terjadi pada reaktor 1, 2, dan 3 pada hari ke-21. Pada tahap awal, jumlah *E. Coli* meningkat, hal ini dimungkinkan karena adanya jumlah bahan organik dalam eco enzim yang tersedia untuk pertumbuhan bakteri (Dewi, 2020). Namun selanjutnya, mikroba baik dalam eco enzim dapat menurunkan jumlah *E. Coli*.

Pada penelitian ini, kadar BOD dan COD meningkat setelah ditambahkan eco enzim. Hal ini dimungkinkan pada proses pemisahan cairan eco enzim dengan ampas tidak dilakukan dengan sempurna. Sehingga ampas eco enzim, masih terikut dalam cairan yang digunakan untuk mengolah air lindi. Akibatnya kadar BOD dan COD dalam eco enzim menjadi tinggi.

Peningkatan BOD dikaitkan dengan aktivitas mikroba yang tinggi (Muliarta, 2023). Tingginya kadar COD menunjukkan bahwa umur limbah tersebut masih memasuki fase metagenetik (Purwanta & Susanto, 2017). Tingginya jumlah kontaminan dan substrat asam humat yang tidak dapat distabilkan oleh mikroba juga dapat menjadi penyebab tingginya nilai COD (Chin, Naim, Suja, dan Usul, 2020).

Menurut Muliarta (2023), eco enzim dapat mempercepat proses hidrolitik tanpa ikut terkonsumsi dalam proses tersebut, yang menggambarkan kekhususan fungsi enzim. Protein dimetabolisme oleh enzim seperti protease dan fosfatase, masing-masing untuk menyediakan nitrogen dan fosfor. Pada titik tertentu, kinerja enzim ramah lingkungan akan mencapai maksimum, dan peningkatan lebih lanjut dalam konsentrasi enzim tidak akan lagi meningkatkan laju reaksi.

Sedangkan menurut penelitian Kerkar, Maharashtra, dan Salvi (2020) menunjukkan bahwa penggunaan dosis eco enzim 5% pada waktu pengamatan 5 hari dapat menurunkan kadar TDS sebanyak 12,32%, BOD sebanyak 62,51%, COD sebanyak 44,76%, dan total bakteri coliform mendekati 90%. Sedangkan dengan dosis 10% waktu pengamatan 10 hari dapat menurunkan kadar TDS sebanyak 13,94%, BOD sebanyak 65,40%, COD sebanyak 48,66%, dan total bakteri coliform mendekati 99,9%.

Enzim yang ada dalam eco enzim memecah molekul limbah yang panjang dan kompleks melalui reaksi hidrolitik, menjadi potongan-potongan kecil, yang kemudian dapat dicerna langsung oleh bakteri (Booton, 2021). Eco enzim dapat mengurai air limbah karena mikroorganisme yang terlibat dalam proses fermentasi memiliki kemampuan mencerna bahan organik. Beberapa mikroorganisme tersebut adalah bakteri dan enzim yang memiliki aktivitas biologis untuk menghancurkan bahan organik yang lebih rumit mengalami penguraian menjadi molekul yang lebih sederhana (Syahirah, 2019).

Tindakan antimikroba pada eco enzim dilakukan dengan menekan atau memblokir proses biokimia dalam tubuh makhluk hidup, seperti mengikat protein atau sel-sel organ dan merusak fungsi penting yang terkait dengan pertumbuhan atau penyesuaian diri mikroorganisme. Berdasarkan proses tersebut, zona hambat pertumbuhan *E. coli* bervariasi pada masing-masing kelompok perlakuan dan kontrol. Faktor yang mempengaruhi antara lain bahan utama yang digunakan, proses pembuatan dan varietas senyawa antimikroba yang diproduksi oleh eco enzim, durasi inkubasi, dan kondisi lingkungan selama pengujian aktivitas mikroba, serta morfologi mikroba target (Rijal, 2022).

Konsentrasi larutan eco enzim juga harus diperhatikan, untuk penelitian selanjutnya, dosis eco enzim sebaiknya juga harus disesuaikan dengan tingkat beban awal air limbah. Jika nilai beban awal air limbah tidak terlalu tinggi atau sekitar <1000 mg/L, dosis sebaiknya antara 1-5% dengan alasan agar tidak menjadi penyebab naiknya kandungan beban pencemar karena kandungan eco enzim itu sendiri (Kumar, *et al.*, 2019).

4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, variasi penambahan eco enzim mampu menurunkan *E. Coli* tetapi tidak dapat menurunkan BOD dan COD air lindi. Penurunan *E. Coli* tertinggi terjadi pada penambahan eco enzim sebesar 13%, pada pengamatan hari ke-21.

SARAN

Sebaiknya air lindi yang digunakan diencerkan terlebih dahulu agar beban pencemar tidak terlalu berat. Penelitian selanjutnya menggunakan dosis eco enzim yang lebih kecil dengan waktu inkubasi yang lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Muliarta IN, Sudita IDN, Situmeang YP.,(2023),The Effect of Eco-Enzyme Spraying on Suwung Landfill Waste, Denpasar, on Changes in Leachate Characteristics. Jurnal Kesehatan Lingkungan.;15(1):56–66. <https://doi.org/10.20473/jkl.v15i1.2023.56-66>.
- Booton, S. (2021, November 12). *Custom Enzymes for Wastewater Treatment*. Retrieved from Wastewater Digest: <https://www.wwdmag.com/wastewater-treatment/article/10940280/custom-enzymes-for-wastewater-treatment>.

- Chin, P. M., Naim, A. N., Suja, F., & Usul, M. F. (2020). Impact of Effluent from the Leachate Treatment Plant of Taman Beringin Solid Waste Transfer Station on the Quality of Jinjang River. *processes*, 8(12), 1-18. doi:<https://doi.org/10.3390/pr8121553>.
- Kerkar, S. S., Maharashtra, & Salvi, S. S. (2020). Application of Eco-Enzyme for Domestic Waste Water Treatment. *International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM)*, 5(11), 114-116. doi:10.35291/2454-9150.2020.0075.
- Kumar, N., Rajshree, Y., Yadav, A., Malhotra, N. H., Gupta, N., & Pushp, P. (2019). International Journal of Human Capital in Urban Management. *International Journal of Human Capital in Urban Management*, 4(3), 181-188. doi:<https://doi.org/10.22034/IJHCUM.2019.03.03>.
- Low, C. W., Ling, R. L., & Teo, S. S. (2021). Effective Microorganisms in Producing Eco-Enzyme from Food Waste for Wastewater Treatment. *Applied Microbiology: Theory & Technology*, 2(1), 29-36.
- Muliarta, I. N., Sudita, I. D., & Situmeneng, Y. P. (2023). The Effect Of Eco-Enzyme Spraying On Suwung Landfill Waste, Denpasar, On Changes In Leachate Characteristics. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 15(1), 56-66. doi:10.20473/jkl.v15i1.2023.56-66.
- Nalladiyil, A., Prakash, P., & Babu, G. S. (2023). Garbage enzyme-mediated treatment of landfill leachate: A sustainable approach. *Bioresource Technology*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129361>.
- Nazim, F., & V., M. (2017). Comparison of Treatment of Greywater Using Garbage and Citrus Enzymes. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 6(4), 49-54.
- Purwanta, W., & Susanto, J. P. (2017). Laju Produksi dan Karakterisasi Polutan Organik Lindidari TPA Kaliwlingi, Kabupaten Brebes. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 157-164. Retrieved from <https://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JTL/article/view/2036/1886>.
- R, F. N., Hadiwidodo, M., & Rezagama, A. (2017). Pengolahan Lindi dengan Metode Koagulasi-flokulasi Menggunakan Koagulan Aluminium Sulfat dan Metode Ozonisasi untuk Menurunkan Parameter Bod, Cod, dan Tss (Studi Kasus Lindi Tpa Jatibarang). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), 1-13.
- Rasit, N., Fern, L. H., & Ghani, W. A. (2019). Production And Characterization Of Eco Enzyme Produced From Tomato And Orange Wastes And Its Influence On The Aquaculture Sludge. *International Journal Of Civil Engineering And Technology (Ijciety)*, 10(03), 967-980. Retrieved From <Http://www.iaeme.com/IJCIET/index.asp>.
- Rijal, M. (2022). Application of Eco-enzymes from Nutmeg, Clove, and Eucalyptus Plant Waste in Inhibiting the Growth of E. coli and S. aureus In Vitro. *Jurnal Biology Science & Education*, 11(1), 2541-1225.
- Rochyani, N., Utpalasari, R. L., & Dahliana, I. (2020). Analisis Hasil Konversi Eco Enzyme Menggunakan Nenas (Ananas Comosus) Dan Pepaya (Carica papaya L.). *Redoks*, 5, 135-140. doi:<https://doi.org/10.31851/redoks.v5i2.5060>.
- Verma, D., Singh, A. N., & Shukla, A. K. (2019, Juli). Use Of Garbage Enzyme For Treatment Of Waste Water. *International Journal of Scientific Research and Review*, 07(07), 201-205.
- Mira Andam Dewi, Rina Anugrah, dan Yessy Aprillia Nurfitri, (2020), Uji Aktivitas Antibakteri Ekoenzim Terhadap Escherichia Coli dan Shigella Dysenteriae [Conference], Seminar Nasional Farmasi (SNIFA) 2 UNJANI. Pemanfaatan Ilmu Farmasi dan Klinis Serta Regulasinya Dalam Pelayanan Kefarmasian Indonesia, pp 60-68, ISBN 978-602-73060-2-8.
- Syahirah, M. F., dan Nazaitulshila, R.,(2019), The Utilization of Pineapples Waste Enzyme for the Improvement of Hydrolysis Solubility in Aquaculture Sludge. *Journal of Energy and Safety Technology (JEST)*, Vol 1:2-2, pp 35-41.
- Anusree Nalladiyil, Prerana Prakash, GL Sivakumar Babu, 2023, Garbage enzyme-mediated treatment of landfill leachate: A sustainable approach, *Bioresource Technology*, Volume 385, October 2023, 129361, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129361>Get rights and content.